Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт горного дела
Уральского отделения Российской академии наук

Сетевое периодическое научное издание

ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Рецензируемый сборник научных статей

Выпуск 1

Екатеринбург
2014

Сетевое периодическое научное издание

ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Учредитель - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт горного дела Уральского отделения РАН

№ государственной регистрации Эл № ФС77-56413 от 11.12.2013 г.

Выходит 4 раза в год только в электронном виде

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С.В. Корнилков, д.т.н., проф., директор ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург - главный редактор
Г.Г. Саканцев, д.т.н., с.н.с., ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург – зам. главного редактора

Члены редакционной коллегии:

Н.Ю. Антонинова, к.т.н., заведующая лабораторией ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
А.А. Барях, д.т.н., проф., директор ГИ УрО РАН, г. Пермь
Н.Г. Валиев, д.т.н., проф., проректор по науке УГГУ, г. Екатеринбург
С.Д. Викторов, д.т.н., проф., заместитель директора ИПКОН РАН, г. Москва
С.Е. Гавришев, д.т.н., проф., директор ИГД и Т, МГТУ, г. Магнитогорск
А.В. Глебов, к.т.н., заместитель директора ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
С.Н. Жариков, к.т.н., с.н.с., ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
А.Г. Журавлев, к.т.н., с.н.с., ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
В.С. Коваленко, д.т.н., проф., заведующий кафедрой МГГУ, г. Москва
В.А. Коротеев, д.т.н., проф., академик, советник РАН ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург
М.В. Курленя, д.т.н., проф., академик, директор ИГД СО РАН, г. Новосибирск
С.В. Лукичев, д.т.н., проф., заместитель директора ГоИ КНЦ РАН, г. Апатиты
В.В. Мельник, к.т.н., заведующий лабораторией ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
И.Ю. Рассказов, д.т.н., директор ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск
И.В. Соколов, д.т.н., заведующий лабораторией ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
С.М. Ткач, д.т.н., директор ИГДС СО РАН, г. Якутск
С.И. Фомин, д.т.н., проф. кафедры, НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург
А.В. Яковлев, к.т.н., заведующий лабораторией ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
В.Л. Яковлев, д.т.н., проф., чл.-корр., советник РАН, ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург

Издатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт горного дела Уральского отделения РАН

Адрес редакции: 620219, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, д. 58, тел. (343)350-21-86

Ответственный редактор выпуска: к.т.н. А.Г. Журавлев
Выпускающий редактор: О.В. Падучева
Редакторы: Н.У. Макарова, О.И. Истомина

К содержанию

Уважаемые читатели!

Вашему вниманию предлагается первый номер сетевого периодического научного издания «Проблемы недропользования». В настоящее время, несмотря на широкое развитие информационных технологий, интернет-формат научных изданий пока мало распространен.

Среди научных направлений издания «Проблемы недропользования» хотелось бы выделить материалы по проблемам:

- теории проектирования месторождений полезных ископаемых;
- геотехники для открытой, подземной и комбинированной отработки месторождений полезных ископаемых;
- строительной геотехнологии подземных и наземных сооружений;
- экологических проблем горнопромышленного комплекса и природопользования;
- управления качеством минерального сырья, рудоподготовки и обогащения;
- геомеханических и геодинамических процессов при освоении месторождений;
- разрушения горных пород и их массивов при комплексном освоении месторождений;
- прикладной и теоретической геофизики и геологии, связанных с освоением недр;
- геоинформационного обеспечения при планировании и проектировании отработки месторождений;
- экономических проблем при недропользовании и многим другим.

У читателей может возникнуть вопрос: почему мы назвали свое издание «Проблемы недропользования».

Недропользование – это широкое понятие, которое объединяет специалистов различных профилей для решения проблем освоения недр Земли. Именно такой широкий охват, на наш взгляд, позволяет формировать новые интересные идеи на стыке наук, расширять кругозор различных специалистов, связанных не только с горным делом, но и с другими важными аспектами обеспечения разработки месторождений.

Недропользование неразрывно связано с технологией в широком ее понимании. Основные приоритеты развития технологий при недропользовании в настоящее время - это экологичность, энергоэффективность и ресурсосбережение, высокая производительность труда, безопасность и эффективная организация работ.

Первый номер открывается статьями участников Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования», проводимой Институтом горного дела УрО РАН при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Президиума Уральского отделения РАН, и является органичным продолжением сборников трудов молодых ученых с аналогичным названием, выпускаемых институтом в течение предыдущих 7 лет.

Институт горного дела Уральского отделения РАН получил свидетельство о регистрации сетевого средства массовой информации «Проблемы недропользования». Издание будет выходить ежеквартально, т.е. с периодичностью не менее чем 4 раза в год, и размещаться на сайте http://trud.igduran.ru

Состав редколлегии представлен профессорами одиннадцати организаций науки и высшего образования.

Надеемся, что авторы, в том числе участники молодежной конференции, оценят удобство пользования сетевым изданием. Сейчас ведется работа по наполнению и развитию сайта. Редакция в свою очередь приложит все усилия для качественного и своевременного выпуска номеров. Хотелось бы, чтобы каждый номер издания был интересен специалистам разного профиля, а материалы освещали актуальные проблемы и предлагали новые интересные решения. Добиться этого можно только совместными усилиями - вашими, уважаемые авторы, и редакции издания.

Надеемся на плодотворное сотрудничество!

Главный редактор
сетевого периодического научного издания
«Проблемы недропользования»
д.т.н., профессор ***Корнилков С.В.***

К содержанию

Председатель оргкомитета Всероссийской
молодежной научно-практической конференции
«Проблемы недропользования»,
директор ИГД УрО РАН,
профессор, д.т.н.
С.В. Корнилков

Ответственный секретарь оргкомитета
к.т.н.
А.Г. Журавлев

Ученый секретарь секции конференции
Е.С. Бусаргина

Уважаемые участники молодежной конференции!

Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования», проводимая Институтом горного дела УрО РАН при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Президиума Уральского отделения РАН, имеет уже восьмилетнюю историю. Особенностью конференции является то, что на ее площадке ежегодно происходит диалог между молодыми и уже имеющими значимое имя в области горного дела учеными, представителями различных производственных компаний, теоретиками и практиками, между российскими и зарубежными специалистами в области горного дела. Традиционным стало участие в конференции выдающихся ученых и ведущих специалистов, выступающих с докладами по актуальным вопросам, что позволяет характеризовать конференцию как мероприятие с элементами школы молодых ученых.

Со времени проведения первой молодежной научно-практической конференции по проблемам недропользования в 4 раза увеличилось количество участников, их географический охват и количество публикуемых статей (табл. 1,2). Стоит отметить, что с самого начала все статьи, принимаемые для публикации в сборник материалов конференции, проходят рецензирование ведущими специалистами ИГД УрО РАН (рис. 1). С 2012 г. лучшие статьи публикуются в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Это позволяет повышать требования к представляемым молодыми учеными докладам и статьям. Несмотря на принципиальность рецензентов при оценке статей, конференция отличается доброжелательностью и желанием ведущих специалистов помочь в повышении качества работ. Нередки случаи, когда при отрицательной рецензии участники проявляли настойчивость, научную принципиальность, обосновывали свои доводы во время доклада и в результате диалога находили варианты правильного и обоснованного изложения своих материалов.

К содержанию

Таблица 1

Конференции «Проблемы недропользования» за 2007 – 2014 гг.

	I молодежная научно-практическая конференция по проблемам недропользования	**Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования»**						
№№ конференций	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**
Официальная поддержка	Президиум УрО РАН	РФФИ, Президиум УрО РАН						
Дата проведения конференции	14.02.2007 г.	12-15.02.2008 г.	10-13.02.2009	9-12 02.2010 г.	8-11.02.2011 г.	7-10.02.2012 г.	12-15.02.2013 г.	3-6.02.2014 г.
Численность участников конференции	40	80	110	150	160	150	150	111
Количество очных докладов	29	68	49	56	80	82	56	62
Количество организаций-участников	12	20	24	45	Более 40	Более 35	Более 35	35

Таблица 2

Статистика публикаций статей в сборниках «Проблемы недропользования»

	Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования»						
№№ конференций	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Год издания сборника	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Количество авторов	100	80	154	131	130	118	111
Количество поступивших статей	69	52	89	70	73	70	64
Количество отклоненных статей	н/д	н/д	н/д	н/д	5 (3 не по теме конференции)	9	3

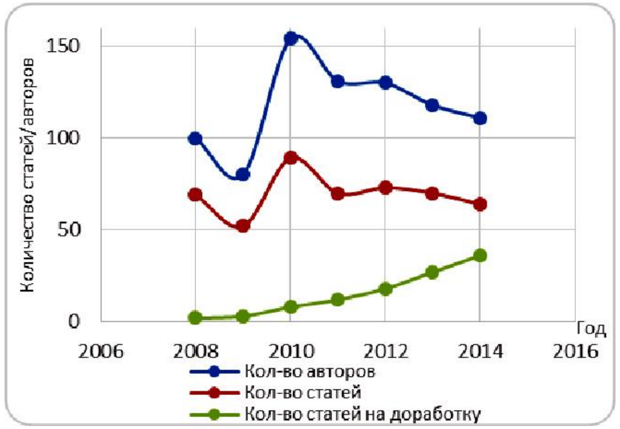


Рис. 1 – Динамика публикаций в сборниках конференций «Проблемы недропользования»

Традиционно весомую часть докладов представляют участники из Уральского региона (УГГУ, институты УрО РАН, университеты и организации г. Перми и других). Доклады на стыке теории и практики делают представители МГТУ (г. Магнитогорск). Всегда интересны доклады представителей СПбГГИ (ныне НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург), МГГУ (г. Москва). Привлекают внимание доклады представителей Кольского полуострова (предприятия и организации городов Мурманска и Апатиты). Интересны труды на стыке геомеханики, геодезии и геоинформатики представителей Казанского университета. Актуальные проблемы обсуждаются в докладах из Якутии (институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА», СВФУ и другие).

Интересные подходы к решению проблем предлагают участники из Украины, Беларуси, Узбекистана, Азербайджана, Болгарии. Всегда наглядными практическими примерами насыщены доклады представителей Казахстана. Традиционно сильны «сибиряки» (институты и организации городов Новосибирска, Кемерово, Томска, Иркутска и других). Сильны научные школы и на Дальнем Востоке городов Хабаровска, Владивостока и других.

В научной программе конференций традиционна работа секций, посвященных геомеханике и разрушению горных пород, геотехнологии, геоэкологии, геоэкономике, геотехнике; заметно увеличивается количество докладов по геоинформатике. Программы проведенных конференций включают вопросы теории проектирования месторождений полезных ископаемых; геотехники для открытой, подземной и комбинированной отработки месторождений полезных ископаемых; строительной геотехнологии подземных и наземных сооружений; экологических проблем горнопромышленного комплекса и природопользования; геомеханических и геодинамических процессов при освоении месторождений; разрушения горных пород и их массивов при комплексном освоении месторождений; геофизики; геоинформационного обеспечения при освоении месторождений; экономических проблем при недропользовании и многие другие.

Учитывая многолетнюю историю сборников материалов конференции «Проблемы недропользования», всестороннее обсуждение и рецензирование высококвалифицированными специалистами докладов участников, в конце 2013 г. руководство Института горного дела УрО РАН совместно с оргкомитетом конференции «Проблемы недропользования» и советом молодых ученых ИГД УрО РАН приняло решение о создании сетевого периодического научного издания «Проблемы недропользования», предназначенного для публикации материалов молодежной конференции, Уральского горнопромышленного форума и других статей.

Желаем всем авторам и участникам молодежной конференции «Проблемы недропользования» творческих успехов и надеемся на плодотворное сотрудничество!

К содержанию

Содержание

ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОИНФОРМАТИКА

Бокова Н.В., Федорченко Д.Г., Нугманова Е.В. Методические приемы геологического дешифрирования мультиспектральных космических изображений (на примере Кондёрского массива) ………………………………………………………………………………………….. 9

Бусаргина Е.С. Влияние напряженно-деформированного состояния прибортовых массивов на устойчивость участков бортов ……………………………………………………………….. 15

Демахин А.Ю., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю. Георадиолокационное обследование состояния грунтов у фундаментов опор тепломагистрали ………………………………………………... 20

Жабко А.В. Поверхности скольжения и предельные параметры неоднородных и анизотропных откосов …………………………………………………………………………………………. 24

Паньков И.Л., Морозов И.А. Исследование влияния коэффициента трения между торцами образцов различной высоты и плитами пресса на механические показатели соляных пород ……………………………………………………………………………………… 32

Рыбин В.В., Калюжный А.С., Потапов Д.А. Оценка устойчивости двухъярусных отвалов с помощью программного комплекса «Galena» ……………………………………………….… 38

Рыбин В.В., Потапов Д.А., Калюжный А.С. Районирование карьерного поля месторождения Олений ручей по глубине с использованием геомеханической классификации проф. Д. Лобшира ……………………………………………………………………………………... 44

Сентябов С.В. О влиянии изменения горизонтальных напряжений в массиве горных пород на состояние крепи стволов ………………………………………………………………………... 53

Федин К.В. Резонансные свойства верхней части разреза (ВЧР) по данным физического моделирования ……………………………………………………………………………………... 59

Харисов Т.Ф., Антонов В.А. Обеспечение устойчивости крепи в процессе строительства вертикальных стволов ……………………………………………………………………....... 65

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ, ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЕОЭКОНОМИКА И ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Зверева В.П., Фролов К.Р., Костина А.М. Моделирование процессов окисления сульфидов на хвостохранилищах Комсомольского района Хабаровского края в широком интервале температур и их влияние на гидросферу ……………………………………………………………………… 71

Василенко Е.А.. Коровяка Е.А. Регенерация метана, выделяемого мусорными свалками, и возможности его утилизации в Днепропетровском регионе ..……………………………….…... 77

Галицына А.М. Проблемы использования и переработки гранитных отсевов ……………………... 83

Голубев Д.А., Крупская Л.Т. Перспективные технологии рекультивации нарушенных горными работами земель в ДФО……………………………………………………………………..…… 88

Кузнецов Д.С. Общественная ценность минерально-сырьевых ресурсов Республики Коми и перспективы их освоения ……………………………………………………………...…...… 95

Мухин С.Е. Экономико-технологические решения по совершенствованию подготовки запасов шахт к интенсивной отработке ……………………………………………………………...…….. 102

Никитин И.В. Вскрытие и технология отработки крутопадающего жильного месторождения в условиях гористой местности ……………………………………………………………………... 108

Пьянзин С.Р., Рождественский В.Н., Кочнев К.А., Кабелко С.Г. Прогнозирование распределения полезного компонента в развале взорванной горной массы при больших удельных расходах ВВ ………………………………………………………………………………………... 114

Реутов Д.С., Котельникова А.Л., Халезов Б.Д., Кориневская Г.Г. Технология извлечения цинка, меди и утилизации песков из твердых отходов, полученных после флотации медеплавильных шлаков ………………………………………………………………………… 121

Соломеин Ю.М., Рожков А.А. Исследование изолированного влияния факторов на извлекаемую ценность железной руды ………………………………………………………………………… 127

ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОИНФОРМАТИКА

К содержанию

УДК 550.813, 550.814, 528.94

Бокова Наталья Викторовна
студентка,
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий
420008, г. Казань, ул. Кремлевская 4/5,
Тел. +7927- 675-46-67,
e-mail: natalya_bokova@bk.ru

Федорченко Диана Геннадьевна
студентка,
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Институт геологии и нефтегазовых технологий
420008, г. Казань, ул. Кремлевская 4/5,
Тел. +7952-047-01-32,
e-mail: di.fedorchenko@gmail.com

Нугманова Екатерина Владимировна
кандидат геолого-минералогических наук,
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий, ассистент
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 4/5
Тел. +7(962)5485894,
e-mail: Ekaterina.Eronina@kpfu.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ КОНДЁРСКОГО МАССИВА)

Аннотация:

В статье представлены результаты исследования информативности данных дистанционного зондирования для решения задач геоморфологического картографирования и опоискования твердых полезных ископаемых. Установлены оптимальные критерии подбора материалов для создания дистанционной основы геологической карты среднего масштаба. Результаты исследования позволили наметить перспективные участки, которые могут быть рекомендованы для проведения детализации на стадии доразведки.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования земли, геоморфология, Кондёрский массив, дешифрирование.

Bokova, Natalya V.,
4th year student, the Institute of Geology and Petroleum Technologies,
Kazansky Federal University
4/5 Kremljovskaya Street,
Kazan 420008, Republic of Tatarstan, Russia
Tel. +7927-675-46-67,
e-mail: natalya_bokova@bk.ru

Fedorchenko, Diana G.,
4th year student,
the Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University
4/5 Kremljovskaya Street,
Kazan 420008, Republic of Tatarstan, Russia
Tel. +7952-047-01-32,
e-mail: di.fedorchenko@gmail.com

Nugmanova, Ekaterina V.,
Candidate of Geology and Mineralogy,
Senior Professor of Geophysics and Geo-information Technology department. The Institute of Geology and Petroleum Technologies,
Kazansky Federal University
18 Kremljovskaya Street, Kazan 420008,
Republic of Tatarstan, Russia
Tel. +7(962)5485894,
e-mail: Ekaterina.Eronina@kpfu.ru

MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGERY INTERPRETATION TECHNIQUE FOR GEOLOGICAL PURPOSES (CASE STUDY OF KONDJOR MASSIF)

Abstract:

The results presented in the study show the potential usefulness of remote sensing data for geomorphological mapping and mineral exploration. A set of optimal criteria for digital, medium-scale geological map preparation has been established. The results of the researches permitted to map out new areas that could be advised for performing detailed field survey at the stage of finishing exploration.

Key words: the Earth remote sensing data, geomorphology, Kondjor Massif, image interpretation technique.

Геологическое дешифрирование по материалам дистанционного зондирования (ДЗ) – аэрофото- и космическим снимкам – является неотъемлемой частью геологоразведочных работ как на этапе региональных исследований, так и на участках детализации с выявленными запасами полезных ископаемых [1, 2, 3]. Первично дистанционную основу геологической съемки составляли материалы аэрофотосъемки, полученные при съемке как с борта самолета, так и с космических спутников околоземной орбиты. Однако прогресс в области космического кораблестроения привел к тому, что за послед-

К содержанию

ние 20 лет на орбиту было выведено более 30 космических аппаратов, качество материалов которых не только не уступало, но и в ряде случаев превосходило материалы аналоговой съемки [4, 5]. Речь идет о долгосрочных космических программах Американского и Европейского космических агентств, таких как Landsat, Terra, JERS, ERS. Эти данные стали доступны широкому кругу специалистов ввиду их свободного распространения, что привело к разработке специализированных алгоритмов и программ, направленных в том числе и на решение геологических задач [2, 4, 5].

Объект и методы исследования. Задачей исследования было создание дистанционной основы листа геологической карты с номенклатурой О-53-XXI с последующим изучением информативности материалов космической съемки для геологического дешифрирования. В работе использовались как традиционные подходы визуального дешифрирования, так и автоматизированные алгоритмы и методики.

Территория исследования расположена в Аяно-Майском районе Хабаровского края (рис. 1). В пределах номенклатурного листа О-53-XXI масштаба 1:200000 расположено уникальное месторождение платины – Кондёрский массив щелочно-ультраосновных пород, разработка которого ведется с конца 70-х годов XX века. В рельефе массиву соответствует одноименный хребет Кондёр, который известен прежде всего из-за своей почти идеальной кольцеобразной формы диаметром около 8 км при высоте от 1200 до 1387 м. Петрографический состав включает щелочные пегматиты, диориты, диоритосиениты, меланократовые диориты, косьвиты, пироксениты, перидотиты, дуниты, а также магнетит-биотит-пироксенитные и магнетит-амфибол-пироксеновые породы, образующие поля линзовидных тел и даек. Центральная часть массива сложена преимущественно дунитами, площадь которых составляет около 6 км^2 [6, 7]. Запасы платиноидов и драгоценных металлов на месторождении Кондёр исчисляются сотнями тысяч тонн, что определяет объект исследования как стратегически важный для экономики России.

Современный рельеф сформировался под действием денудационно-эрозионных процессов, интенсивность проявления которых была обусловлена новейшими тектоническими движениями четвертичного периода, а также составом и строением субстрата.

Новейшие тектонические движения проявились в виде общего слабо дифференцированного поднятия всей территории, на фоне которого происходила локальная деформация поверхности с образованием более мелких структур [7].

В качестве материалов дистанционной основы были использованы безоблачные снимки, полученные съемочными системами Landsat ETM+ (2 снимка) и Landsat TM (4 снимка), Terra/ASTER (1 сцена) , EO-Ali/Hyperion (2 сцены), также 4 снимка SPOT для создания ортофотоплана мозаики (рис. 2). В работе использовалась как цифровая модель рельефа (ЦМР), полученная путем векторизации топографической основы листа О-53-XXI, так и ЦМР SRTM (пространственное разрешение 90 м). В качестве программного обеспечения для работы с данными ДЗ использовалась система ArcGIS Desktop, ENVI, WinLESSA самых последних версий.

Этап визуального дешифрирования заключался в подборе оптимального синтеза спектральных каналов с последующим их представлением в виде RGB-композита [2, 4, 5]. Процедура выбора каналов, используемых для синтеза, непосредственно сопряжена с сопоставлением космической информации с данными геологической карты. Устойчивой и эффективной считалась та комбинация, которая отражает петрографический состав одного стратиграфического возраста по всей площади снимка. При использовании стереоскопических свойств пары космических снимков Terra ASTER была создана ЦММ высокого разрешения и проведены работы по трехмерному геологическому картографированию [8].

К содержанию

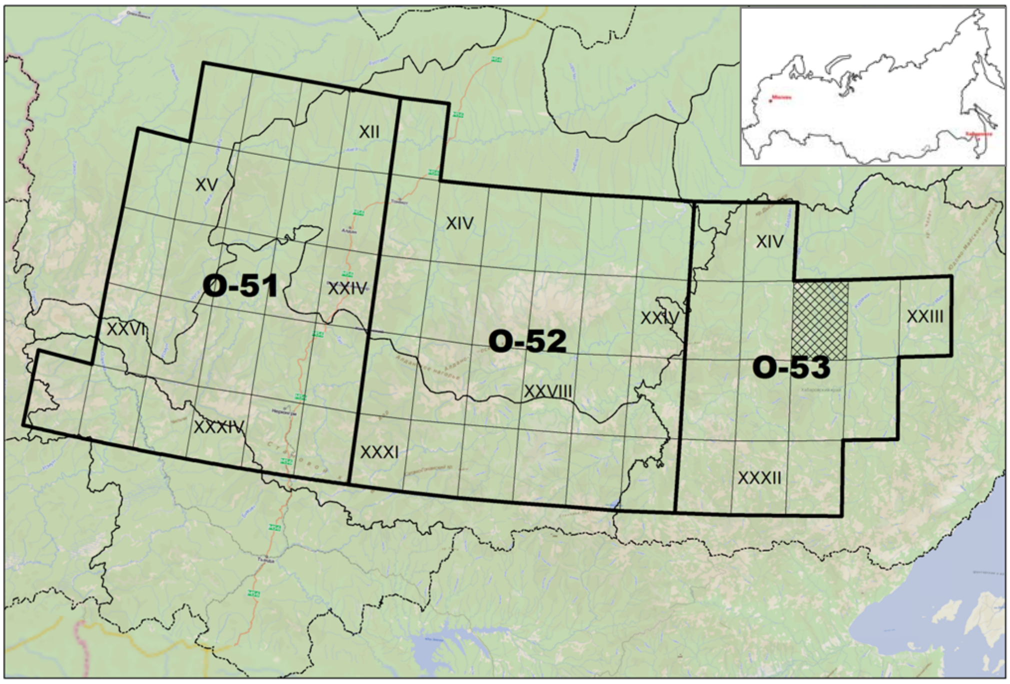


Рис. 1 – Географическое положение объекта исследования

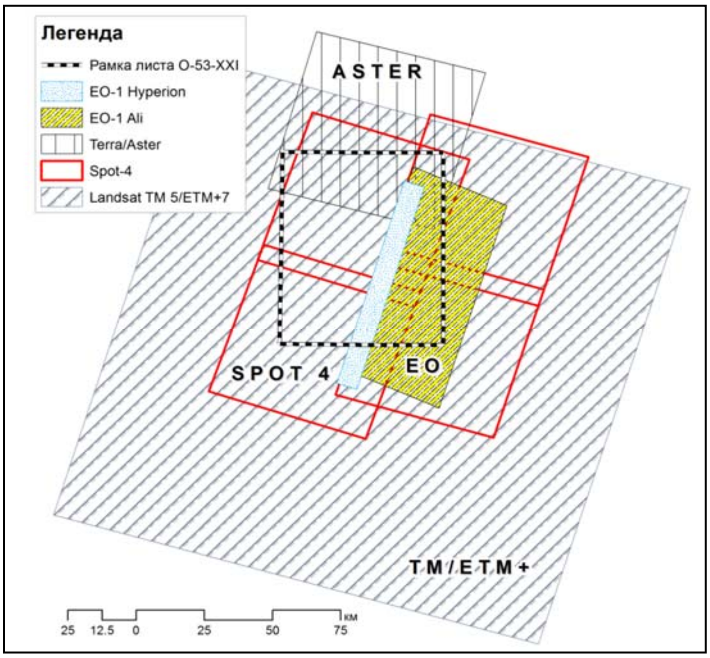


Рис. 2 – Покрытие территории исследования данными ДЗЗ

Автоматическое индексное дешифрирование основано на различиях яркости природных объектов в двух или нескольких частях спектра. Такие индексы хорошо разработаны для спектральных каналов космической системы Landsat и достаточно подробно описаны в ряде литературных источников [9]. Современные программные продукты для обработки данных ДЗЗ (ENVI, ERDAS) содержат большинство указанных алгоритмов, что позволяет с легкостью получать готовые для классификации (экспертной интерпретации) тематические карты.

Используя программу WinLESSA [10, 11, 12], провели автоматизированный расчет линеаментов по ЦМР, а также по космическому снимку (средний ИК, 1.5 – 2.2 мкм).

К содержанию

Результаты и обсуждение. На этапе визуального дешифрирования были определены наиболее информативные комбинации спектральных каналов. Синтез следующих каналов (по данным Landsat ETM+/TM) достоверно отражает содержание геологической карты: **4-5-1** – отчетливо проявлено радиально-концентрическое строение Кондёрского массива и геологические границы толщ горизонтально залегающих пород между омнинской (Pt_3 on) и эннинской (Pt_3 en) свитами (рис. 3, слева).

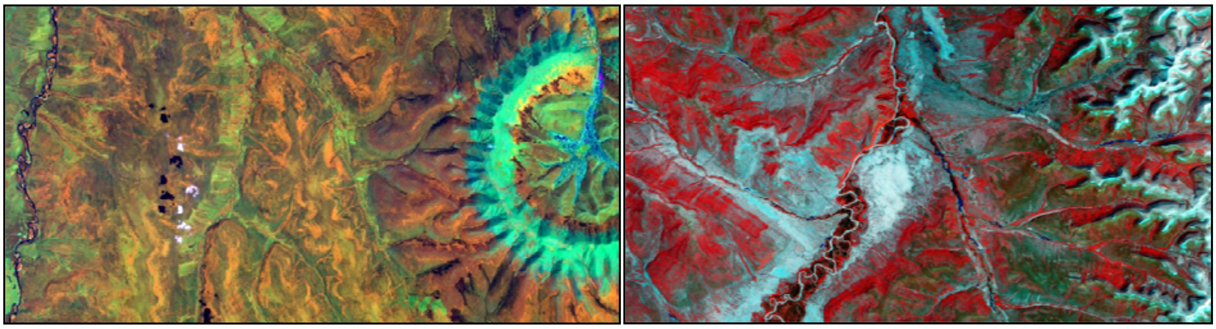


Рис. 3 – Синтез спектральных каналов по данным спутника Landsat TM

Композит каналов **5-4-2** – участки надпойменных террас крупных рек (Q_{IV}) – отображаются светлым фототоном и имеют шероховатую текстуру, что отличает их от других морфологических элементов долин. **5-7-1** – выделяются русла временных водотоков и пути сноса пролювиального материала (рис. 3, справа). В стереоскопическом режиме были закартированы пролювиальные конусы выноса, надпойменные террасы, шлейфы осыпания и обвалы (Q^1_{III} и Q^2_{III}) – потенциальные участки поисковых работ на россыпное золото и платину. Достаточно отчетливо в этом режиме выделяются разломы и оперяющие трещины.

Хорошо известно, что в практике геологического дешифрирования широко применяется стереоэффект, получаемый при работе с парой перекрывающихся аэрофотоснимков на зеркальном стереоскопе. За счет бинокулярного зрения рельеф выглядит на такой паре в преувеличенном вертикальном масштабе, что повышает четкость изображения в 1,5 – 2 раза [13]. В таком режиме легко дешифрируются элементы разломной тектоники, которые не всегда столь однозначны на одиночном снимке. Искусственное превышение стереомодели позволяет отличать аккумулятивные формы рельефа, созданные деятельностью временных водотоков, – пролювиальные конусы выноса от аллювиальных речных террас.

Еще одной полезной особенностью цифровой стереомодели является возможность быстрого создания псевдостереоэффекта или обращенного рельефа. В таком случае возвышенности становятся низменностями, а более низкие отметки рельефа выглядят как горные хребты. Использование такого режима позволяет изучать развитие речных долинных комплексов рек, выделять элементы долин и характер линейной эрозии на породах различного литологического состава.

Наибольшее количество индексов, рассчитываемых автоматически средствами программы ENVI, предназначено для дешифрирования зеленой вегетирующей растительности и отделения ее от других объектов. Был использован метод «колпачок с кисточкой» (Tasseled Cap), что позволило разделить растительность и открытые поверхности. Следует отметить, что наибольшей информативностью и практической ценностью для анализа стал индекс минерального композита, так как каждый канал RGB-композита соответствует определенной литологической разности, а цветовые переходы показывают на соотношение между ними.

Интересные результаты были получены при интерпретации роз-диаграмм линеаментов: линии вытянутости, особенно ортогональные линии, позволяют оконтурить все известные кольцевые структуры в пределах листа – массивы Кондёрский, Одолин-

К содержанию

ский, Облачный, а также получить информацию о новейших тектонических впадинах, выраженных в рельефе центростремительным рисунком речной сети. Статистическая информация о линеаментах, представленная в виде плотности штрихов, роз-диаграмм в окне, линий вытянутости роз и ортогональных линий позволяет говорить о высокой сходимости результатов автоматизированного линеаментного анализа с априорной геологической информацией. Новой является информация о трещинной тектонике, полученная путем сопоставления космолинеаментов и линеаментов рельефа методами буферного наложения в геоинформационной системе ArcGIS. Линейно вытянутые и площадные участки высокой трещиноватости могут рассматриваться как транзитные зоны минерального флюида.

На основе ЦМР были построены карта уклона рельефа, а также карты вертикальной и горизонтальной расчлененности, что позволило провести углубленный морфометрический анализ территории. Целью анализа было создание синтетической карты геоморфологического районирования (рис. 4). Используя инструменты геоинформационной системы ArcGIS – переклассификацию и оверлейные операции с растрами – были выделены как морфоструктуры унаследованного тектонического развития, так и аструктрурные поверхности экзодинамического генезиса.

Заключение. Наш первый опыт обработки данных ДЗЗ для решения реальных геологических задач доказывает, что материалы дистанционного зондирования космической съемки не претендуют на полную замену ручного дешифрирования, но все же существенно облегчают интерпретацию геологического дешифрирования и особенно актуальны для районов с неотектонической и современной активностью, к которым относится и Кондёрский массив. Возможности программных пакетов по обработке данных ДЗЗ- и ГИС-технологии позволили провести комплексный анализ имеющейся дистанционной информации, соответствующей этапу рекогносцировочных работ, и наметить потенциально перспективные участки для поисков россыпных месторождений.

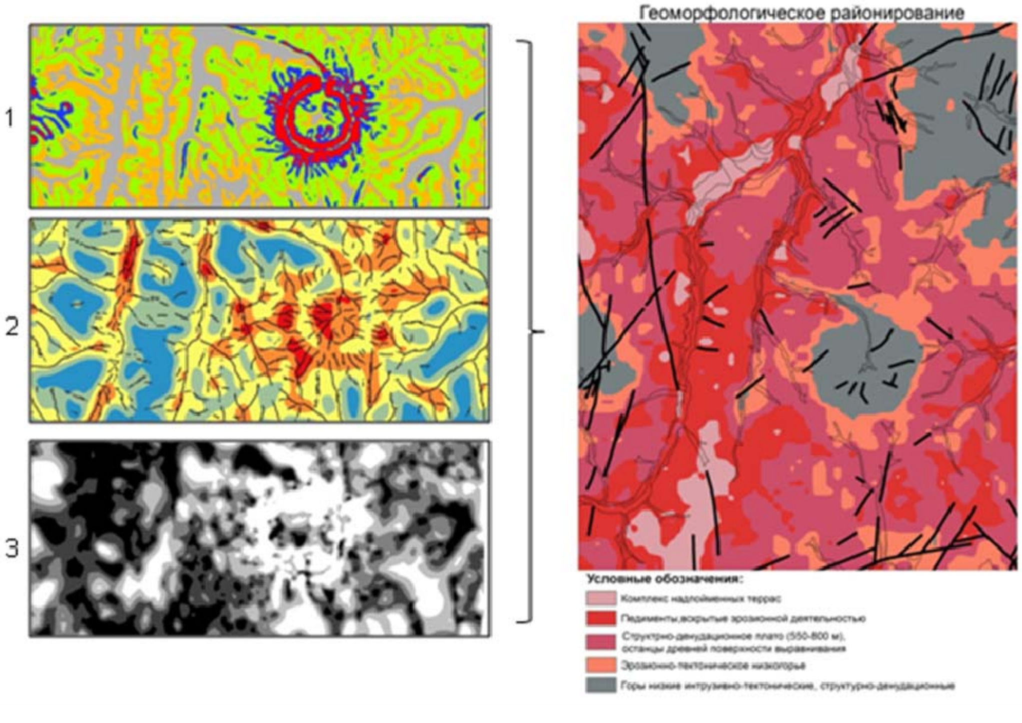

Геоморфологическое районирование
1
2
3
Условные обозначения:
Комплекс надпойменных террас
Педименты,вскрытые эрозионной деятельностью
Структурно-денудационное плато (550-800 м),
останцы древней поверхности выравнивания
Эрозионно-тектоническое низкогорье
Горы низкие интрузивно-тектонические, структурно-денудационные

Рис. 4 – Морфологические характеристики рельефа и анализ синтетической карты геоморфологического районирования:

1 – карта углов наклона рельефа (0 – 15 градусов),
2 – карта эрозионного расчленения (0 – 1,4 м/км^2),
3 – карта глубины эрозионного вреза (0 – 500 м)

К содержанию

Литература

1. Аэрометоды геологических исследований / ред. В.К.Еремин; лаб. аэрометодов МГ СССР. - Л.: Недра, 1971. - 704 с.

2. Корчуганова Н.И. Дистанционные методы геологического картирования / Н.И. Корчуганова, А. К. Корсаков. - М.: Издательство «КДУ», 2009. - 288 с.

3. Ануфриев А.М. Аэрокосмометоды в геологии: курс лекций / А.М.Ануфриев. - Казань, Изд.-во КГУ, 2007. - 87 с.

4. Серебряков В.Б. Применение космических данных в комплексе поисковых работ на нефть и газ / В. Б. Серебряков // Инф. бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2008. – № 1 (63).

5. Image interpretation in geology / S.A. Drury. - 2nd edn. - L.: Chapman & Hall, 1993. - 275p.

6. Авдонцев С.Н. Петрология щелочно-ультрамафитовых массивов Кондерского комплекса (восточная часть Алданского щита): автореф. дис. … канд. геол.-минер. наук / С.Н. Авдонцев. - Д., 1989.

7. Шпак Н.С. Объяснительная записка к геологической карте СССР листа О-53-XXI, масштаб 1:200000 / Н.С. Шпак, А.С. Сурикова. – М., 1980. – 99 с.

8. Справочное руководство Field Guide. Copyright (C) 2005 ERDAS, Inc. All right reserved.: пер. на рус. яз. – М.: Изд-во Дата+, 2009. – 707 с.

9. Crist E.P. and Kauth R.J. The Tasseled Cap De-Mystified // Photogrammetricc Engineering & Remote Sensing. - 1986. – 52 (1). – P. 81-86.

10. Златопольский А.А. Особенности определения направления естественных объектов и текстур по растровым дистанционным данным / А.А. Златопольский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: ООО «Азбука-2000», 2007. - Вып. 4. - Т. 1. – С. 52 - 56.

11. Златопольский А.А. Методика измерения ориентационных характеристик данных дистанционного зондирования (технология LESSA) / А.А. Златопольский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: Изд-во ООО «Азбука», 2008. – Вып. 5. – Т. 1. – С. 102 – 112.

12. Златопольский А.А. Новые возможности технологии LESSA и анализ цифровой модели рельефа. Методический аспект / А. А. Златопольский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: Изд-во ООО «Азбука», 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 38 - 46.

13. Книжников Ю. Ф. Значение стереоскопических аэрокосмических снимков в исследованиях динамики географических явлений / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – № 3. – С. 125 - 133.

К содержанию

УДК 622.271.333:622.831.3

Бусаргина Екатерина Сергеевна
инженер лаборатории открытой геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
Тел. (343) 350-54-11, 8-906-800-70-34,
e-mail:ekaterina-busargina@yandex.ru

Busargina Ekaterina Sergeevna
Engineer of the Laboratory of surface geotechnology, The Institute of Mining UB RAS
620219, Yekaterinburg, 58, Mamin-Sibiryak st.
Tel. 8-906-800-70-34,
e-mail: ekaterina-busargina@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ УЧАСТКОВ БОРТОВ

THE EFFECT OF ROCK MASS STRESSED-DEFORMED STATE ON THE STABILITY OF PIT EDGES AREAS

Аннотация:

По результатам инженерно-геологических исследований с использованием информации о напряженно-деформированном состоянии, трещиноватости массива, поверхностях ослабления, залегании структурных элементов массива приведена оценка устойчивости участка борта карьера, которая показала, что устойчивость участка прибортового массива при наличии круто- и пологопадающих систем трещин зависит не только от физико-механических свойств данных систем трещин, но и от параметров тектонического поля напряжений.

Ключевые слова: массив горных пород, устойчивость, карьер, трещиноватость, поверхности ослабления

Abstract:

According to the results of geotechnical studies using information on the rock mass stressed-deformed state and jointing, the surfaces of weakening, as well as rock mass structural elements bedding, the assessment of stability of the pit edge part is given, that has shown that the stability of near-edge rock mass part in the presence of steep and flat falling fracture systems depends not only on physical and mechanical properties of these fracture systems, but also on the parameters of the tectonic stress field.

Key words: rock mass, stability, open pit, jointing, surfaces of weakening

Одной из важных частей инженерно-геологической информации о горном объекте наряду со структурным строением является напряженное состояние породного массива месторождения, на основе которого строится деформационная модель соответствующего участка прибортового массива [1]. Информация о напряженном состоянии массива месторождения позволяет на новом научном уровне прогнозировать деформационное поведение прибортового массива и судить о возможности проявления оползневых деформаций при ведении горных работ в карьере.

Влияние тектонического поля напряжений на устойчивость прибортовых массивов на различных месторождениях и даже на различных участках бортов одного месторождения проявляется индивидуально. Рассмотрим участок прибортового массива, представляющий собой разуплотненный массив, разбитый разноориентированными трещинами на удалении 20 – 30 м от поверхности обнажения (рис. 1). Предположим наличие как пологопадающих, так и крутопадающих поверхностей ослабления с падением в сторону выработанного пространства карьера. Наличие данных поверхностей является одним из важных факторов развития оползневых деформаций данной области.

К содержанию

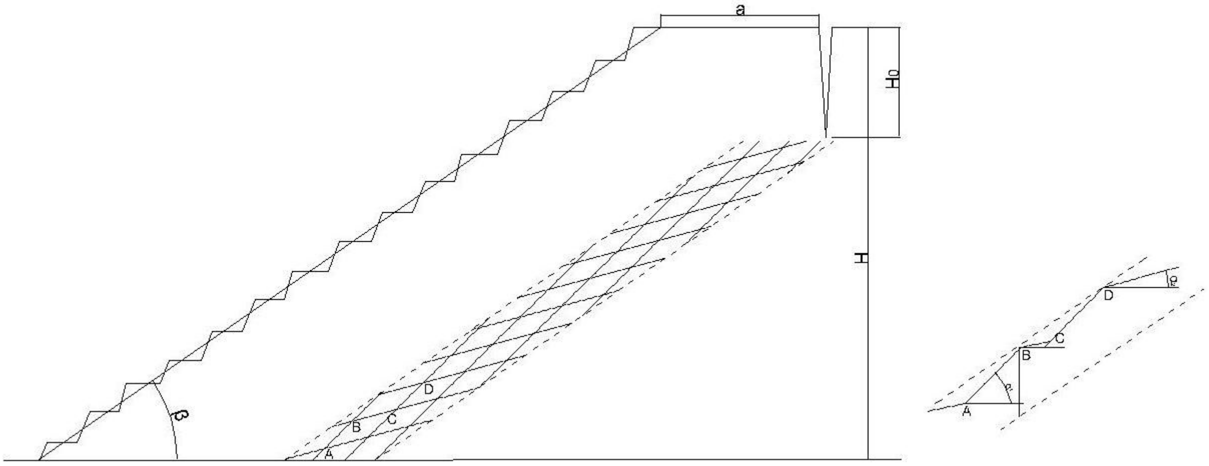


Рис. 1 – Модель поверхности скольжения в прибортовом массиве

Система уравнений, характеризующая устойчивость породной призмы, сформированной за счет наличия двух систем трещин, выражается в следующем виде[2]:

$$F_{сдв} = (\tau_{сдв})_1 L_к + (\tau_{сдв})_2 L_п\ ,$$

$$F_{сц} = (\tau_{сц})_1 L_к + (\tau_{сц})_2 L_п\ , \qquad (1)$$

где $(\tau_{сдв})_1$ и $(\tau_{сц})_1$ – удельное сдвиговое усилие и усилие сцепления на крутопадающей поверхности, МПа;

$(\tau_{сдв})_2$ и $(\tau_{сц})_2$ – удельное сдвиговое усилие и усилие сцепления на пологопадающей поверхности, МПа;

$L_к$ и $L_п$ – длина круто- и пологопадающих трещин в пределах поверхности скольжения призмы, м.

Согласно этим формулам, коэффициент запаса устойчивости породной призмы по поверхности скольжения, образованной при наличие круто- и пологопадающих систем трещин

$$k_{зап} = F_{сц}/F_{сдв}. \qquad (2)$$

Для определения коэффициент запаса устойчивости данного участка борта воспользуемся моделью поверхности скольжения на участке прибортового массива, представленной на рис. 1. Скольжение оползневого тела происходит по поверхности, образованной поверхностями ослаблениями с углами падения в выработанное пространство карьера α_1 и α_2.

Длина поверхности скольжения оползневого тела равна

$$H_1 = H - H_0 = \sum h_1 + \sum h_2 = \sin\alpha_1 L_к + \sin\alpha_2 L_п\ , \qquad (3)$$

где H – общая высота прибортового участка, м;

H_0 – глубина расположения деструктивной трещины, м;

h_1 и h_2 – высота круто- и пологопадающей частей поверхности скольжения, м;

α_1 и α_2 – углы падения круто- и пологопадающих поверхностей ослабления, град;

$L_к$ и $L_п$ – длина круто- и пологопадающих трещин в пределах поверхности скольжения призмы, м.

Общая длина круто- и пологопадающих трещин

$$L_{общ} = H/\mathrm{tg}\beta + a = L_к \sin\alpha_1 + L_п \sin\alpha_2, \qquad (4)$$

где β – угол наклона соответствующего участка борта карьера, град;

a – расстояние от верхней бровки борта до деструктивной трещины, м.

Уравнения (3) и (4) представляют собой систему:

К содержанию

$$\begin{cases} H_1 = L_{к} \sin \alpha_1 + L_{п} \sin \alpha_2 , \\ H/\mathrm{tg}\beta + a = L_{к} \sin \alpha_1 + L_{н} \sin \alpha_2 . \end{cases} \quad (5)$$

После преобразования этой системы может быть найдена протяженность круто- и пологопадающих трещин в пределах поверхности скольжения согласно следующим уравнениям:

$$L_{к} = \frac{H_1 \cos \alpha_2 - L_{общ} \sin \alpha_2}{\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 - \sin \alpha_2 \cos \alpha_1} , \quad (6)$$

$$L_{п} = \frac{L_{общ} \sin \alpha_1 - H_1 \sin \alpha_1}{\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 - \sin \alpha_2 \cos \alpha_1} . \quad (7)$$

Для определения коэффициента запаса устойчивости данного участка борта необходимо определить удельное сдвиговое усилие и усилие сцепления на крутопадающей и пологопадающей поверхности трещины согласно уравнениям

$$\tau_{сдв} = 0{,}5(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\alpha, \quad (8)$$

$$\tau_{сц} = (\sigma_1 \sin^2\alpha + \sigma_3 \cos^2\alpha) \mathrm{tg}\, \varphi' + C', \quad (9)$$

где σ_1 – максимальная компонента поля напряжений, МПа;

σ_3 – минимальная компонента поля напряжений, МПа;

α – угол между σ_1 и поверхностью трещины, град;

φ' – угол трения по контакту поверхностей трещины, град;

C' – сцепление по контакту поверхностей трещины, МПа.

Решим задачу по определению коэффициента запаса устойчивости оползневой призмы с поверхностью скольжения, сформированной полого- и крутопадающими системами трещин со следующими параметрами: высота участка борта H=100 м, длина поверхности скольжения H_1= 90 м, угол наклона борта 35°, расстояние от верхней бровки до деструктивной трещины 15 м. Параметры системы трещин в этой зоне: крутопадающая система имеет неровную слабошероховатую поверхность, угол трения по контакту 20°, сцепление 0,5 МПа, угол наклона 45°, пологопадающая система имеет шероховатую поверхность трещин, угол трения по контакту 15°, сцепление 0,3 МПа, угол наклона 12°.

Протяженность круто- и пологопадающих трещин в пределах поверхности скольжения согласно уравнениям (6) и (7) и заданным параметрам составила $L_{к}$=92,18 м и $L_{п}$=95,88 м.

Для расчета сдвиговых усилий и усилий сцепления по поверхности трещины были составлены таблицы 1 – 3, рассчитанные согласно уравнениям (8) и (9) для трещин различного генезиса и при различных значениях максимальной и минимальной компонент поля напряжений.

Таблица 1

Значения сдвигового усилия и усилия сцепления по поверхности трещин различного генезиса при значениях максимальной и минимальной компоненты поля напряжений σ_1=14,5 МПа и σ_3=5,8 МПа

α, град	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Шероховатый контакт φ′=20°, C′=0,5 МПа																	
$\tau_{сц}$	2,71	2,82	2,98	3,17	3,4	3,65	3,92	4,19	4,47	4,73	4,98	5,21	5,4	5,56	5,68	5,75	5,77
$\tau_{сдв}$	1,49	2,17	2,79	3,33	3,77	4,09	4,28	4,35	4,28	4,09	3,77	3,34	2,8	2,18	1,49	0,76	0,01
Слабошероховатый контакт φ′=15°, C′ =0,3 МПа																	
$\tau_{сц}$	1,92	2,01	2,13	2,27	2,44	2,62	2,82	3,02	3,22	3,42	3,6	3,77	3,91	4,03	4,11	4,17	4,18
$\tau_{сдв}$	1,49	2,17	2,79	3,33	3,77	4,09	4,28	4,35	4,28	4,09	3,77	3,34	2,8	2,18	1,49	0,76	0,01

К содержанию

Таблица 2

Значения сдвигового усилия и усилия сцепления по поверхности трещин различного генезиса при значениях максимальной и минимальной компоненты поля напряжений σ_1=20 МПа и σ_3=7,5 Мпа

α, град	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Шероховатый контакт φ′=20°, *C*′=0,5 МПа																	
$\tau_{сц}$	3,37	3,53	3,76	4,04	4,36	4,72	5,11	5,5	5,89	6,28	6,64	6,96	7,24	7,47	7,64	7,74	7,78
$\tau_{сдв}$	2,14	3,12	4,02	4,79	5,41	5,87	6,15	6,25	6,16	5,88	5,42	4,79	4,02	3,13	2,15	1,09	0,01
Слабошероховатый контакт φ′=15°, *C*′=0,3 МПа																	
$\tau_{сц}$	2,41	2,53	2,7	2,91	3,14	3,41	3,69	3,98	4,27	4,55	4,82	5,06	5,26	5,43	5,55	5,63	5,66
$\tau_{сдв}$	2,14	3,12	4,02	4,79	5,41	5,87	6,15	6,25	6,16	5,88	5,42	4,79	4,02	3,13	2,15	1,09	0,01

Таблица 3

Значения сдвигового усилия и усилия сцепления по поверхности трещин различного генезиса при значениях максимальной и минимальной компоненты поля напряжений σ_1=5 МПа и σ_3=1,5 МПа

α, град	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Шероховатый контакт φ′=20°, *C*′=0,5 МПа																	
$\tau_{сц}$	1,08	1,13	1,19	1,27	1,36	1,46	1,57	1,68	1,79	1,9	2	2,09	2,17	2,23	2,28	2,31	2,32
$\tau_{сдв}$	0,6	0,87	1,12	1,34	1,52	1,64	1,72	1,75	1,72	1,65	1,52	1,34	1,13	0,88	0,6	0,31	0,01
Слабошероховатый контакт φ′=15°, *C*′=0,3 МПа																	
$\tau_{сц}$	0,73	0,76	0,81	0,87	0,94	1,01	1,09	1,17	1,25	1,33	1,4	1,47	1,53	1,58	1,61	1,63	1,64
$\tau_{сдв}$	0,6	0,87	1,12	1,34	1,52	1,64	1,72	1,75	1,72	1,65	1,52	1,34	1,13	0,88	0,6	0,31	0,01

Таблица 4

Значения коэффициента запаса устойчивости, сил сцепления и сдвижения породной призмы по поверхности скольжения, образованной круто- и пологопадающей системами трещин

α, град	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
При σ_1=14,5 МПа и σ_3=5,8 МПа																	
$F_{сц}$	433,91	452,68	478,94	509,88	547,38	587,68	631,75	675,82	720,81	763,95	804,25	841,76	872,70	898,95	917,68	929,89	932,69
$F_{сдв}$	280,22	408,11	524,71	626,26	709,01	769,19	804,93	818,09	804,93	769,19	709,01	628,14	526,59	409,99	280,22	142,93	1,88
k	1,55	1,11	0,91	0,81	0,77	0,76	0,78	0,83	0,90	0,99	1,13	1,34	1,66	2,19	3,27	6,51	495,94
При σ_1=20 МПа и σ_3=7,5 МПа																	
$F_{сц}$	24,28	25,46	27,14	29,19	31,50	34,15	36,96	39,82	42,67	45,49	48,13	50,48	52,50	54,18	55,40	56,15	56,45
$F_{сдв}$	17,91	26,11	33,65	40,09	45,28	49,13	51,48	52,31	51,56	49,22	45,37	40,09	33,65	26,20	18,00	9,12	0,08
k	1,36	0,97	0,81	0,73	0,70	0,70	0,72	0,76	0,83	0,92	1,06	1,26	1,56	2,07	3,08	6,15	674,41
При σ_1=5 МПа и σ_3=1,5 МПа																	
$F_{сц}$	10,95	11,43	12,09	12,94	13,90	14,93	16,08	17,23	18,38	19,52	20,55	21,52	22,36	23,03	23,51	23,81	23,93
$F_{сдв}$	7,22	10,47	13,48	16,13	18,30	19,75	20,71	21,07	20,71	19,87	18,30	16,13	13,61	10,60	7,22	3,73	0,06
k	1,52	1,09	0,90	0,80	0,76	0,76	0,78	0,82	0,89	0,98	1,12	1,33	1,64	2,17	3,25	6,38	407,05

Расчет коэффициента запаса устойчивости, сил сцепления и сдвигающих сил, действующих на участке массива при наличии круто- и пологопадающих систем трещин при различных значениях максимальной и минимальной компоненты поля напряжений и при различном угле между σ_1 и поверхностью трещины, был произведен

К содержанию

с применением значений параметров $(\tau_{сдв})_1$, $(\tau_{сц})_1$, $(\tau_{сдв})_2$ и $(\tau_{сц})_2$, взятых из таблиц 1 – 3. Получены значения коэффициента запаса устойчивости, отраженные в таблице 4, а также построен график зависимости коэффициента запаса устойчивости от угла между максимальной компонентой поля напряжений и поверхностью трещины (рис. 2).

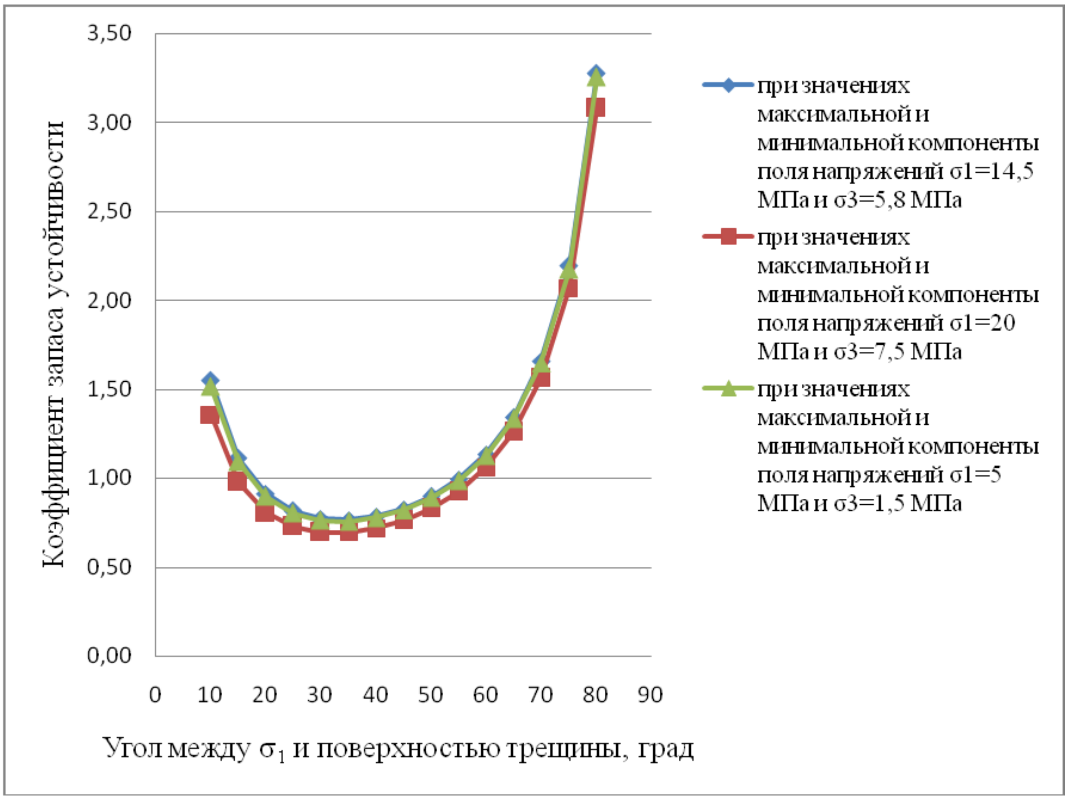


Рис. 2 – График зависимости коэффициента запаса устойчивости участка прибортового массива от угла между максимальной компонентой поля напряжений σ_1 и поверхностью трещины

По полученным результатам можно судить, что устойчивость участка прибортового массива при наличии круто- и пологопадающих систем трещин зависит не только от физико-механических свойств данных систем трещин, но и от параметров тектонического поля напряжений. Очень важными для устойчивости прибортового массива становятся нарушения, которые составляют с вектором действия максимальной компоненты тензора напряжений σ_1 углы в пределах 15 – 55°.Этот диапазон углов отклонения нарушения от вектора σ_1 позволяет реализоватьсядвижению породной призмы по трещинам и нарушениям, если сцепление по контакту нарушения составляет 0,3 – 0,5 МПа. При углах отклонения нарушения от вектора действия максимальной компоненты σ_1 0 – 15° и 55 – 90° тектоническое поле напряжений за счет действия продольной по отношению к борту компоненты поля напряжений оказывает благоприятное влияние на устойчивость участков прибортовых массивов.

Литература

1. Яковлев А. В. Методика изучения прибортовых массивов для прогнозирования устойчивости бортов карьеров / А. В. Яковлев, Н. И. Ермаков. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2008. – 78 с.
2. Яковлев А. В. Устойчивость бортов рудных карьеров при действии тектонических напряжений в массиве / А. В. Яковлев, Н. И. Ермаков. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2006. – 231 с.

К содержанию

УДК 550.837.76

Демахин Андрей Юрьевич
инженер,
Горный институт Кольского научного центра
Российской академии наук
184209 Россия, Мурманская область,
г. Апатиты, ул. Ферсмана д. 24,
Тел. +7 (81555) 79 270,
e-mail: Demahin@goi.kolasc.net.ru.

Запорожец Дмитрий Владимирович
ведущий инженер,
Горный институт Кольского научного центра
Российской академии наук
184209 Россия, Мурманская область,
г. Апатиты, ул. Ферсмана д.24.
Тел. +7 (81555) 79 270,
e-mail: Zaporojec@goi.kolasc.net.ru.

Дьяков Андрей Юрьевич
младший научный сотрудник,
Горный институт Кольского научного центра
Российской академии наук
184209 Россия, Мурманская область,
г. Апатиты, ул. Ферсмана д.24.
Тел. +7 (81555) 79 270,
e-mail: Dyakov@goi.kolasc.net.ru.

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ У ФУНДАМЕНТОВ ОПОР ТЕПЛОМАГИСТРАЛИ

Аннотация:

В работе изложены результаты обследования состояния грунтов у железобетонных фундаментов опор тепломагистрали при помощи высокотехнологичных неразрушающих георадиолокационных определений. В результате георадарной съемки были получены временные разрезы – радарограммы, отображающие структуру и распределение слоев насыпных и природных грунтов и скальных оснований. Выполнена камеральная обработка всех георадиолокационных данных, произведена интерпретация и анализ обследованных грунтов. На основе интерпретированных данных выявлены зоны повышенного увлажнения грунтов и структурных неоднородностей.

Ключевые слова: *георадиолокация, грунты, фундаменты, тепломагистраль*

Demakhin Andrey Yurievich.
Engineer,
The Mining Institute of the Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences
Fersman st. 24, Apatites, Murmansk region
184209, Russia.
Tel. +7 (81555) 79 270,
e-mail: Demahin@goi.kolasc.net.ru.

Zaporozhets Dmitriy Vladimirovich.
Leading Engineer,
The Mining Institute of the Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences.
Fersman st. 24, Apatites, Murmansk region
184209, Russia.
Tel. +7 (81555) 79 270,
e-mail:Zaporojec@goi.kolasc.net.ru

Dyakov Andrey Yurievich
Senior Researcher,
The Mining Institute of the Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences,
Fersman st. 24, Apatites, Murmansk region
184209, Russia.
Tel. +7 (81555) 79 270,
e-mail: Dyakov@goi.kolasc.net.ru.

GEO-RADARLOCATION OBSERVATION OF SOILS CONDITIONS AROUND FOUNDATIONS OF HEATING PIPELINE BEARINGS

Abstract:

The paper presents the results of soils conditions observation around reinforced concrete foundations of heating pipeline bearings employing high-technology non-destructive geo-radar detections. Geo-radar survey has presented time sections or radargrams, that display the layers structure and distribution of filled and natural soils and rock foundations. Laboratory processing of all the geo-radiolocation data has been performed, as well as the interpretation and analysis of soils under study have been carried out. In terms of interpreted data the areas of soils increased moistening and structural heterogeneities have been revealed.

Key words: geo-radiolocation, soils, foundations, heating pipeline

Для оперативной оценки и контроля состояния природно-технических систем применяют методы неразрушающих определений, к которым в первую очередь следует отнести георадарное подповерхностное зондирование. Георадарные определения высокоинформативны как для естественных грунтовых и породных массивов, так и для искусственных сооружений, промышленных объектов, дамб, плотин, оснований (фундаментов) и позволяют осуществлять оценку состояния, а также мониторинг развития деформационных процессов, развития трещиноватости и изменения структуры различных природно-технических систем.

Георадарные определения в настоящее время инновационно применяют в различных областях, среди которых в первую очередь необходимо выделить горное дело, геологию, транспортное, промышленное, гидротехническое и гражданское строительство, экологию и др.

Зачастую вопрос обследования фундаментов и грунтов основания встает уже после проявления деформаций в наземных конструкциях объекта. В этом случае требуется проведение комплекса исследований, направленных на выявление причин развития деформаций в конструктивных элементах объекта. Помимо стандартных методов инженерной геологии (отбора и лабораторного анализа грунтов основания, полевых испытаний грунтов и пр.) часто используются инженерно-геофизические методы исследований (сейсмо- и электротомография, георадиолокация и пр.). Чаще всего традиционные методы инженерной геологии применяются на этапе проектирования объекта и, поскольку связаны с немалыми затратами, занимают довольно продолжительное время, а также предполагают нарушение целостности исследуемой среды (шурфы, буровые скважины и т. д.). На этапах строительства и эксплуатации целесообразней применять геофизические методы, поскольку они дают возможность получения дифференцированной информации о геологической среде без ее нарушения.

Компания, ведущая работы по строительству тепломагистрали, столкнулась с проблемой проседания фундаментов на участке строящейся теплотрассы, и поэтому применение георадиолокационного метода неразрушающего обследования грунтов с получением оперативной и достоверной информации было наиболее рационально.

Метод георадиолокации базируется на изучении поля высокочастотных электромагнитных волн. Основными величинами, измеряемыми при георадиолокационных исследованиях, являются время пробега электромагнитной волны от источника до отражающей границы и обратно до приемника, а также амплитуда этого отражения [1].

В результате георадиолокационной съемки были получены временные разрезы – радарограммы, отображающие структуру и распределение слоев насыпных и природных грунтов и скальных оснований. В процессе обработки и интерпретации радарограмм выделяются и отслеживаются оси синфазности отраженных волн от различных границ раздела (отражающих границ или горизонтов) волн и их сопоставление с гидрогеологическими особенностями разреза.

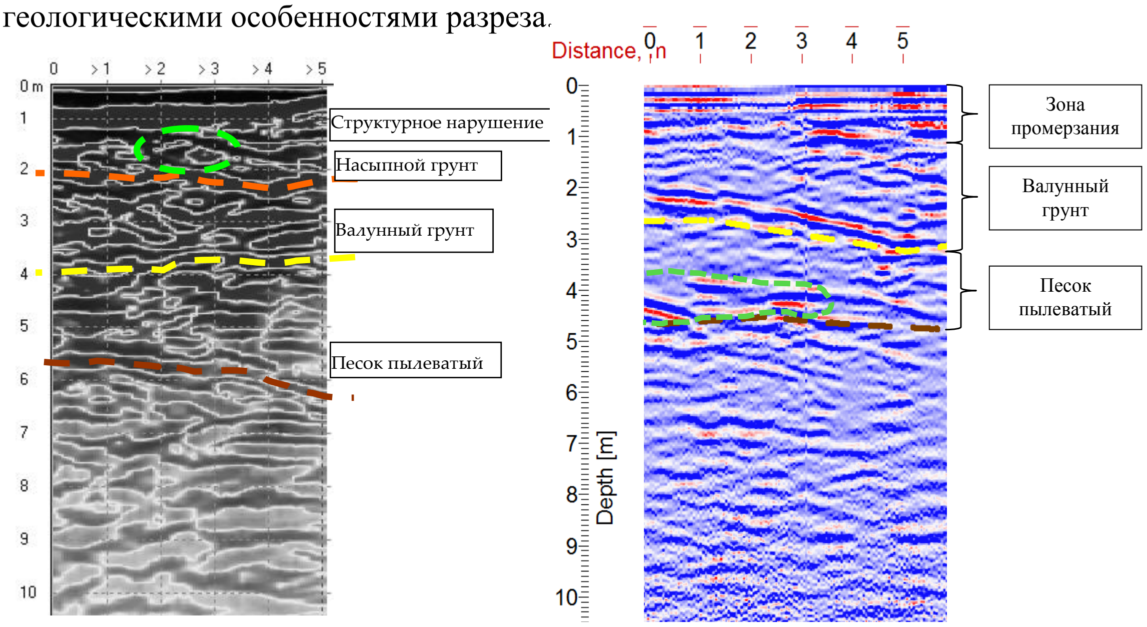


Рис. 1 – Радарограммы обследования грунта в непосредственной близости от фундамента

К содержанию

Радарограмма (рис. 1, 2, 3) представляет собой совокупность записей сигналов (трасс), пришедших к приемной антенне за интервал времени от 0 момента посылки зондирующего импульса до конца интервала записи (развертки), выставленного оператором. Горизонтальная ось радарограммы *X*, ось профиля в метрах. Начальные точки трасс располагаются на этой оси с шагом, записанным на профиле. Вертикальная ось волновой картины – ось времени с началом $t = 0$, моментом посылки зондирующего импульса и концом $t_{\max}$, соответствующим концу интервала записи (развертки).

Выполнена камеральная обработка всех георадиолокационных данных, произведены интерпретация и анализ обследованных грунтов. На основе интерпретированных данных выявлены зоны повышенного увлажнения грунтов и структурных неоднородностей.

Причиной деформаций разнообразных сооружений часто является развитие процессов суффозии с образованием затем зон разуплотнения и просадок грунта. Особенно интенсивно эти процессы развиваются в несвязных грунтах под воздействием проходящей воды, т. е. проблема в общем виде сводится к поиску зон локального увлажнения, которые довольно успешно выявляются с помощью георадиолокации. Процессы суффозии значительно ускоряются в местах локальных протечек на теплотрассах и в других трубопроводах.

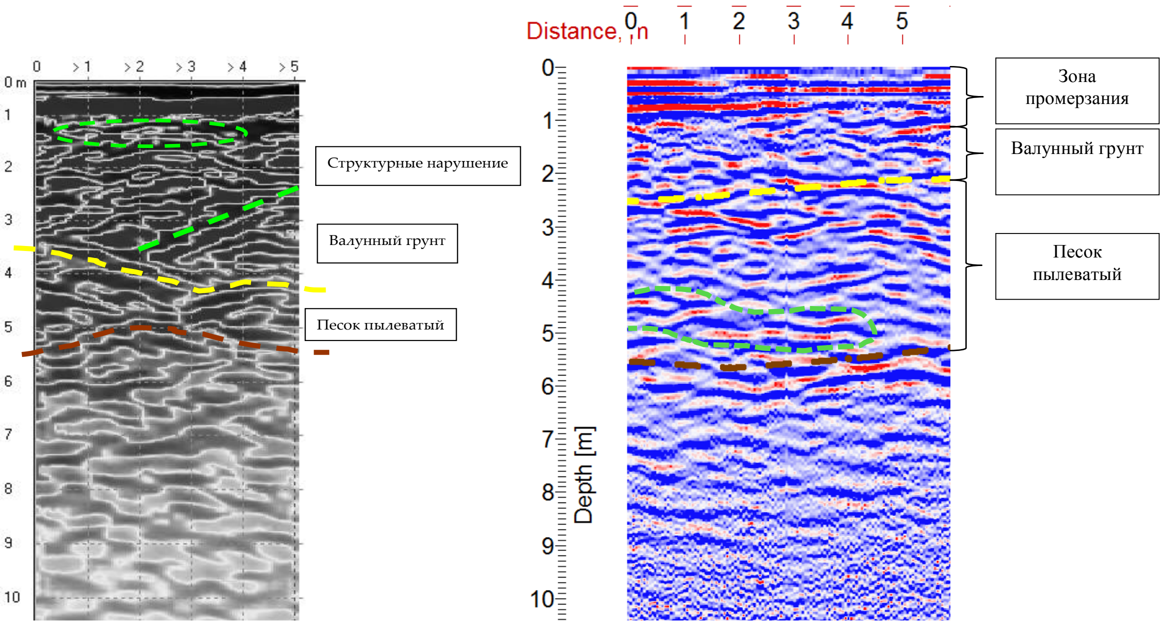


Рис. 2 – Фрагменты радарограмм с выделенными структурными нарушениями, непосредственно под опорой справа налево под углом 30 градусов проходит дислокация

Действие подземных вод обусловливает крайне неравномерные изменения физических свойств грунтов. Увеличение, всплеск амплитуды сигнала на 15 – 20 % от общего значения на этом участке явно указывает на наличие увлажненных грунтов. Диэлектрическая проницаемость, а следовательно, и скорость распространения электромагнитных волн незначительно зависят от типа грунтов и определяются, главным образом, их влагонасыщенностью.

Одним из ярких примеров, иллюстрирующих этот факт, является то, что при изменении влажности в песках на 10 – 15 % кинематика и динамика электромагнитных волн изменится весьма значимо за счет изменения условий поляризации, проводимости и диэлектрической проницаемости.

К содержанию

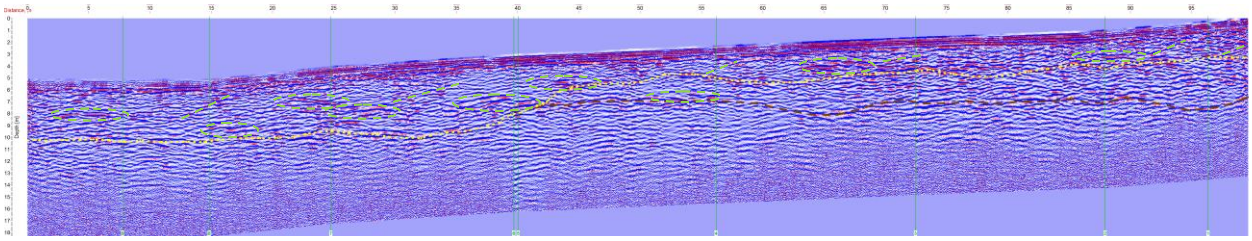


Рис. 3 – Продольная радарограмм параллельно обследуемым фундаментам с выделением геологических структур и зон повышенной влажности

На основании профиля построен условный геологический разрез, который представлен на рис. 4. Условные обозначения к разрезу приведены на рисунке.

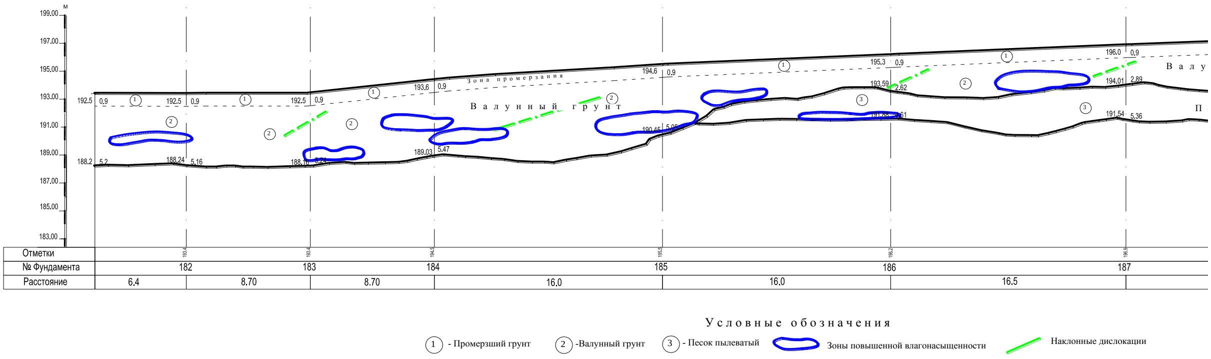


Рис. 4 – Условный геологический разрез, построенный по данным георадарных обследований

Георадарные измерения дали достаточно четкую картину состояния грунтов в пределах обследованных участков. Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы в соответствии с поставленной задачей:

1. Глубина промерзания грунтов у опор составляет около 1 м.
2. Выявленные зоны повышенной влажности грунтов локализуются непосредственно вокруг и под опорами. По-видимому, в котлованах для опор была вода, а размеры зон повышенного увлажнения (2 – 5 м по вертикали и 3 –10 м по горизонтали) свидетельствуют о том, что воды было достаточно много.
3. Следует ожидать дальнейшей просадки опор до тех пор, пока вода не перераспределится из указанных зон в окружающие грунты.
4. На перераспределение воды из зон повышенного увлажнения в окружающие грунты и, соответственно, на просадку опор окажут влияние близрасположенные грунтовые неоднородности.
5. На участках с выявленными зонами повышенной влажности рекомендуется контролировать степень перераспределения воды у опор трубопровода из зон повышенного увлажнения в окружающие грунты. Такой мониторинг может быть оперативно выполнен георадарным зондированием.

Литература

1. Владов М.Л. Введение в георадиолокацию / М. Л. Владов, А. В. Старовойтов – МГУ, 2005.– 153с.
2. Калашник А.И. Подповерхностное георадарное зондирование горно-геологических сред Кольского полуострова/ А.И. Калашник и др. // Вестник МГТУ: тр. Мурман. гос. тех. ун-та. –2009.– Т. 12. – № 4. – С.576-583.
3. Демахин А.Ю. Полевые исследования подпочвенной структуры грунтов методом георадиолокации / А. Ю. Демахин, А. Ю. Дьяков, Д. В Запорожец // Сбалансированное природопользование: сб. тр. Всероссийской науч. конф. с международным участием, Апатиты. - 2010. - С. 84 - 90.

К содержанию

УДК 622.271.332.624.13

Жабко Андрей Викторович
доцент кафедры маркшейдерского дела,
кандидат технических наук,
Уральский государственный
горный университет
620144, г. Екатеринбург, Куйбышева 30,
Тел.+79122192411,
e-mail: zhabkoav@mail.ru.

ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НЕОДНОРОДНЫХ И АНИЗОТРОПНЫХ ОТКОСОВ

Аннотация:

В статье предлагается механический принцип для расчета устойчивости откосов. На его основе выстраивается теория расчета их устойчивости. Выводятся основные уравнения условия равновесия призмы смещения. Получены дифференциальные уравнения, определяющие геометрию потенциальной поверхности скольжения. Дается решение задачи на основе методов вариационного исчисления. Рассмотрены вопросы преломления поверхности скольжения в анизотропных горных массивах.

Ключевые слова: откос, условие равновесия, устойчивость, экстремум функционала, дифференциальное уравнение, поверхность скольжения, анизотропия, угол излома.

Zhabko Andrey Victorovich
associate professor, mine surveying department,
candidate of engineering sciences
The Urals State Mining University,
620144, Yekaterinburg, 30, Kuibyshev st.
Tel. +79122192411,
e-mail: zhabkoav@mail.ru

SURFACES OF SLIDING AND LIMIT PARAMETERS OF THE NON-UNIFORM AND ANISOTROPIC SLOPES

Abstract:

The article proposes a mechanical principle to calculate slopes' stability. The theory of calculation of their stability is based on it. The basic equations of conditions of a displacement prism equilibrium are derived. Differential equations that determine the geometry of a potential slip surface are received. The solution of the problem in terms of the methods of the variations calculus is given. The questions of slip surface refraction in anisotropic rock mass are discussed.

Key words: slope, equilibrium condition, stability, composite function extremum, differential equation, slip surface, anisotropy, torsion angle.

Рассмотрим участок горного массива (призму смещения), который может смещаться по некоторой произвольной поверхности скольжения. Разобьем призму смещения на отсеки и предположим, что функция поверхности скольжения известна. Тогда система (призма смещения), состоящая из n отсеков имеет $2n$ степеней свободы, то есть каждый отсек может независимо перемещаться по площадке скольжения и вращаться относительно некоторой точки. Однако заметим, что вращение отдельных отсеков не влияет на устойчивость призмы смещения в целом, а приводит лишь к ее деформированию[1]. Поэтому n степеней свободы, обусловленных вращением отсеков, можно исключить из рассмотрения. Если при смещении призмы отсеки взаимодействуют между собой, это свидетельствует о системе с удерживающими связями. Такой характер нарушения устойчивости будет иметь место тогда, когда нижерасположенные отсеки смогут перемещаться лишь под воздействием вышерасположенных. При выполнении последнего условия система будет иметь одну степень свободы, в качестве обобщенной координаты можно выбрать, например, горизонтальное смещение, одинаковое для всех отсеков.

Условие равновесия призмы смещения в общем виде определяется уравнением [1 – 3]:

$$\int\left[\gamma(\hat{y}-y)(y'-f)-C\left(1+y'^{2}\right)+\left(T'+fE'\right)y'\right]dx+\left(E_1-E_0\right)-f\left(T_1-T_0\right)=0\,, \qquad (1)$$

где γ – объемный вес горных пород; $\hat{y}, y$ – функции линий откоса и поверхности скольжения, соответственно; y' – производная функции поверхности скольжения;

---

[1] Здесь речь идет о незначительных деформациях, которые не приведут к состоянию системы, резко отличной от той, для которой составлялось условие равновесия.

К содержанию

T_0, E_0, T_1, E_1 – внешние касательные и нормальные реакции на вертикальных гранях призмы смещения, соответственно, слева и справа; $f = \mathrm{tg}\varphi$ – коэффициент внутреннего трения (тангенс угла внутреннего трения); C – сцепление массива горных пород; E', T' – соответственно, производные функций нормальной и касательной составляющих межблоковой реакции по аргументу.

При углах наклона поверхности скольжения, превышающих угол внутреннего трения $(\vartheta_i \geq \varphi)$, условие равновесия призмы смещения определяется уравнением

$$\int \left[\frac{\gamma(\hat{y} - y)(y' - f) - C\left(1 + y'^2\right)}{1 + y'^2} \right] dx + (E_1 - E_0) - f(T_1 - T_0) = 0 . \tag{2}$$

А для участков с углами наклона поверхности скольжения $(\vartheta_i < \varphi)$ условие равновесия имеет вид:

$$\int \left[\frac{\gamma(\hat{y} - y)(y' - f) - C\left(1 + y'^2\right)}{1 + fy'} \right] dx + (E_1 - E_0) - f(T_1 - T_0) = 0 . \tag{3}$$

Поверхность скольжения в массиве может зарождаться в однородных массивах вследствие действия гравитационных сил, может быть предопределена геологическим строением массива (тектоническими нарушениями, трещиноватостью различных рангов, слоистостью, сланцеватостью) или являться следствием их комбинации. Кроме того, из уравнений (2, 3) видно, что призма смещения может находиться в равновесии как в свободном состоянии, так и под действием внешних сил.

Определим пределы применимости функционала (2). Дело в том, что для присутствия межблоковых связей необходимо, чтобы вышерасположенный (вдоль поверхности скольжения) отсек имел большую энергию, чем нижерасположенный. Для выполнения этого требования необходимо

$$\frac{dF}{dx} > 0 ,$$

где F – подынтегральное выражение функционала (2).

Считая высоты смежных отсеков равными, получаем следующее неравенство:

$$\frac{dF}{dx} = y''\left(1 + 2fy' - y'^2\right) > 0 , \tag{4}$$

где y'' – вторая производная функции поверхности скольжения по x.

Учитывая, что функция поверхности скольжения вогнутая, определяем максимально возможное значение производной функции поверхности скольжения, определяемое функционалом (2). Таким образом, согласно неравенству (4), максимальный угол наклона зарождающейся поверхности скольжения (в предельном равновесии) не может превышать величины $\vartheta_i \leq \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)$. Однако если поверхность скольжения предопределена геологическим строением массива, а угол поверхности ослабления превышает предельный, то в этом случае межблоковые связи (реакции) не совершают работу по перемещению. Это же относится к выпуклой поверхности скольжения. Поэтому при использовании функционала (1) условие равновесия будет иметь вид:

$$\int \left[\gamma(\hat{y} - y)(y' - f) - C\left(1 + y'^2\right) \right] dx + (E_1 - E_0) - f(T_1 - T_0) = 0 . \tag{5}$$

Таким образом, функционалами (2, 3, 5) описываются условия равновесия по произвольной поверхности скольжения.

Рассмотрим анизотропный откос. Под анизотропией в общем случае будем понимать систему поверхностей ослабления с характеристиками паспорта прочности C' и $f' = \mathrm{tg}\varphi'$, как правило, меньшими, чем показатели прочности массива C и φ. Рассмот-

К содержанию

рим вначале произвольный плоский откос, разрушение которого произойдет по поверхности скольжения, полностью совпадающей с плоской поверхностью ослабления (рис. 1). Очевидно, из постановки задачи имеем условие $\alpha > \beta$. Если $\beta < \varphi'$, то разрушение откоса произойти не может, поэтому будем исходить из неравенства $\beta > \varphi'$.

Поместим начало прямоугольной системы координат в точку выхода поверхности ослабления в откос, тогда условие равновесия будет иметь вид [1, 2]:

$$\int\limits_{0}^{H\mathrm{ctg}\alpha}\left[\frac{\gamma(kx-\mathrm{tg}\beta x)(\mathrm{tg}\beta-f')}{1+\mathrm{tg}^2\beta}-C'\right]dx+\int\limits_{H\mathrm{ctg}\alpha}^{H\mathrm{ctg}\alpha+a}\left[\frac{\gamma(H-\mathrm{tg}\beta x)(\mathrm{tg}\beta-f')}{1+\mathrm{tg}^2\beta}-C'\right]dx=0,$$

откуда предельная высота откоса выразится зависимостью [1, 2]:

$$H=h'\frac{\mathrm{tg}\alpha+\sqrt{\mathrm{tg}\alpha\mathrm{tg}\beta}}{\mathrm{tg}\alpha-\mathrm{tg}\beta}=\frac{h'}{1-\sqrt{\mathrm{ctg}\alpha\mathrm{tg}\beta}}. \tag{6}$$

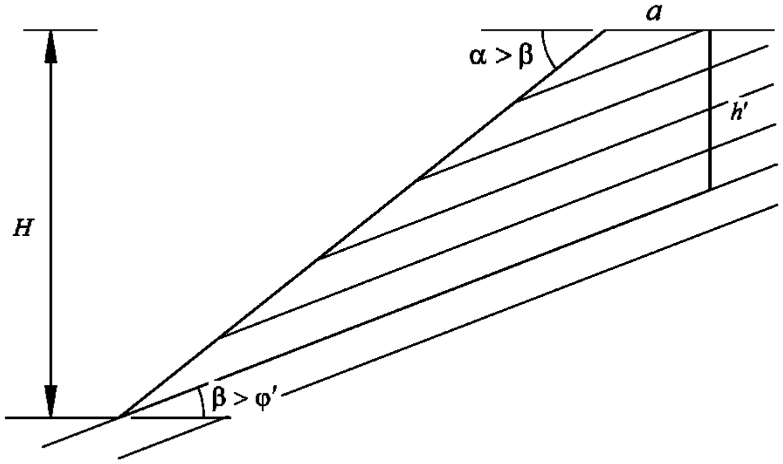


Рис. 1 – Схема к расчету предельных параметров анизотропного откоса

Формула (6) рекомендуется Правилами [4] и получена из условий геометрической статики. Однако, как показано выше, она является следствием более общего уравнения. Заметим, что в случае, когда $\beta > \pi/4 + \varphi'/2$, в качестве условия равновесия необходимо использовать функционал (5), который также приводит к формуле (6).

Рассмотрим теперь более общий случай потери устойчивости анизотропного откоса и методику определения его предельных параметров (рис. 2). В этом случае поверхность скольжения может частично совпадать с поверхностями анизотропии и проходить вкрест ее, подобно поверхности в однородном откосе. В этом случае условие равновесия, а также угол излома θ существенно зависят от координат точек излома, угла падения поверхностей ослабления, а также от физико-механических свойств пород вдоль плоскостей анизотропии и вкрест ее.

Ограничимся рассмотрением следующей расчетной схемы. Пусть в массиве имеются плоские поверхности ослабления, падающие в сторону выработанного пространства под углом $\beta > \varphi'$ к оси x. В этом случае поверхность скольжения может частично совпадать с поверхностями ослабления.

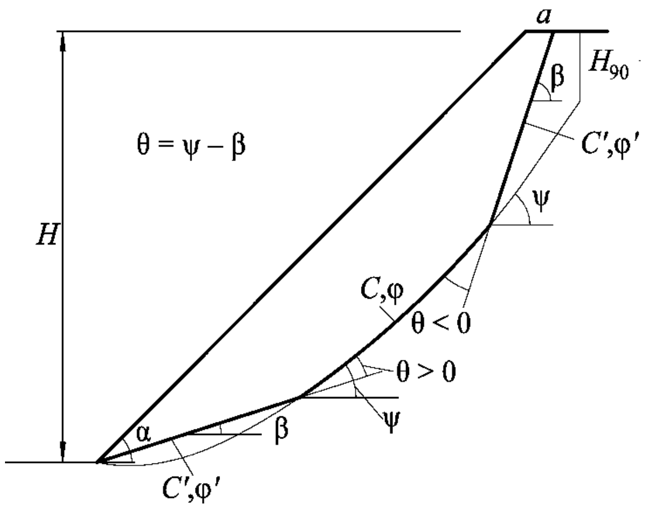


Рис. 2 – Поверхность скольжения в анизотропном откосе

Необходимо определить условие в точке пересечения этих поверхностей с криволинейной частью поверхности скольжения, построенной для изотропной части массива на участке $\vartheta > \varphi$. Предположим, что найдется такой параметр $n > 0$, одинаковый для всех отсеков, и, если на него разделить величину сцепления (или умножить объемный вес), условие предельного равновесия будет выполняться в каждой точке поверхности скольжения. Поместим начало системы координат в точку пересечения поверхности скольжения с откосом и, используя функционал (2), получим следующую задачу вариационного исчисления:

$$\int_{x_1}^{x_0} \frac{(\widehat{y} - y)(y' - f) - \lambda(1 + y'^2)}{1 + y'^2} dx + \int_{x_0}^{x_2} \frac{(\widehat{y} - \mathrm{tg}\beta x - g)(\mathrm{tg}\beta - f') - \lambda'(1 + \mathrm{tg}^2\beta)}{1 + \mathrm{tg}^2\beta} dx \to \mathrm{extr}, \quad (7)$$

где g – постоянная; $\lambda = C/\gamma n$, $\lambda' = C'/\gamma n$ – заведомо неизвестные параметры, определяющие предельную высоту откоса (очевидно, $\lambda' = (C'/C)\lambda$).

Условие в точке излома поверхности скольжения имеет вид:

$$F_1 + (\Phi' - y_1')F_{1y_1'} = F_2 + (\Phi' - y_2')F_{2y_2'}, \quad (8)$$

где F_1, F_2 – подынтегральные выражения слагаемых (7); $F_{1y_1'}$, $F_{2y_2'}$ – частные производные подынтегральных выражений по производной функции поверхности скольжения; Φ' – производная функции, по которой перемещается точка разрыва (поверхность ослабления).

Условие (8) запишется так:

$$\frac{\mathrm{tg}\psi - \mathrm{tg}\varphi}{1 + \mathrm{tg}^2\psi} - \frac{\mathrm{tg}\beta - \mathrm{tg}\varphi'}{1 + \mathrm{tg}^2\beta} + (\mathrm{tg}\beta - \mathrm{tg}\psi)\frac{1 + 2\mathrm{tg}\varphi\mathrm{tg}\psi - \mathrm{tg}^2\psi}{(1 + \mathrm{tg}^2\psi)^2} = \frac{\lambda - \lambda'}{h}, \quad (9)$$

где ψ – угол наклона поверхности скольжения к оси x (к горизонту) в точке преломления; h – глубина точки излома (расстояние по вертикали от поверхности откоса или бермы до точки излома).

Рассмотрим задачу о преломлении поверхности скольжения вследствие ее перехода в литологический слой с иными механическими характеристиками. Аналогом поставленной задачи является задача о преломлении луча света на границе сред с разными оптическими плотностями в постановке принципа Ферма (1660 г.). Примем $\psi > \varphi$ – угол наклона поверхности скольжения к оси x до преломления; β – угол наклона контакта

К содержанию

литологических слоев к оси x; $\omega > \varphi'$ – угол наклона поверхности скольжения к оси x после преломления (слой с параметром λ'); C', φ' – механические характеристики литологического слоя, в который переходит поверхность скольжения. Составляя выражения, подобные (7) и (8), с использованием функционала (2), получим уравнение:

$$\frac{\mathrm{tg}\psi-\mathrm{tg}\varphi}{1+\mathrm{tg}^2\psi}-\frac{\mathrm{tg}\omega-\mathrm{tg}\varphi'}{1+\mathrm{tg}^2\omega}+(\mathrm{tg}\beta-\mathrm{tg}\psi)\frac{1+2\mathrm{tg}\varphi\mathrm{tg}\psi-\mathrm{tg}^2\psi}{(1+\mathrm{tg}^2\psi)^2}-(\mathrm{tg}\beta-\mathrm{tg}\omega)\frac{1+2\mathrm{tg}\varphi'\mathrm{tg}\omega-\mathrm{tg}^2\omega}{(1+\mathrm{tg}^2\omega)^2}=\frac{\lambda-\lambda'}{h} \; . \qquad (10)$$

Анализируя условие (10), замечаем, что в случае $C = C'$, $\varphi = \varphi'$, преломления поверхности скольжения не происходит, то есть $\psi = \omega$. Кроме того, очевидно, что поверхность скольжения не может после преломления вернуться в первоначальный литологический слой, то есть предельным значением угла ω является угол β. В этом случае скольжение произойдет по параллельной или совпадающей с контактом поверхности. Положив в уравнении (10) $\omega = \beta$, получим условие (9).

Рассмотрим пример расчета неоднородного откоса. Требуется определить предельную высоту откоса H, состоящего из двух горизонтально залегающих слоев ($\beta = 0^\circ$), верхний слой имеет мощность, равную $1/3H$, при следующих условиях (нумерация слоев снизу): $\alpha = 40^\circ; \gamma = \gamma_1 = 2{,}5\ \text{т/м}^3; C_1 = 2\ \text{т/м}^2; C = 10\ \text{т/м}^2; \varphi_1 = 25^\circ; \varphi = 30^\circ$.

Предположим, что в точке излома поверхности скольжения выполняются условия $\psi > \varphi$, $\omega > \varphi_1$, а абсцисса точки излома x_0 находится под откосом. Тогда уравнения поверхности скольжения в нижнем слое имеют вид [3]:

$$kx-y_1=\lambda\frac{(kf-1)y_1'^2+2(k+f)y_1'+1-kf}{fy_1'^2-2f^2y_1'+k-f+kf^2}\equiv\lambda\eta_1(p), \qquad -\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\alpha+\varphi}{2}\right)\le y_1'\le\mathrm{tg}\varphi$$

$$kx-y_2=\lambda\frac{1+kf}{1+f^2}\frac{(1+y_2'^2)^2}{2y_2'^3-(k+3f)y_2'^2+2kfy_2'+k-f}\equiv\lambda\eta_2(p), \qquad y_2'>\mathrm{tg}\varphi,$$

где $\eta(p)$ – некоторая функция параметра $p \equiv y'$.

Произвольная постоянная для первого уравнения получена из условия трансверсальности на пересечении поверхности скольжения с откосом, а для второго – из условия равенства производных в точке $y_1' = y_2' = \mathrm{tg}\varphi$.

Уравнение поверхности скольжения под откосом после преломления имеет вид [3]:

$$kx-y_3=(\lambda_1+d_1)\frac{(1+y_3'^2)^2}{2y_3'^3-(k+3f_1)y_3'^2+2kf_1y_3'+k-f_1}\equiv(\lambda_1+d_1)\eta_3(p).$$

Для определения углов поверхности скольжения по обе стороны от точки излома, абсциссы и глубины точки излома h, а также параметра $\lambda_1 + d_1$ составляем условия:

$$\frac{\mathrm{tg}\psi-\mathrm{tg}\varphi}{1+\mathrm{tg}^2\psi}-\frac{\mathrm{tg}\omega-\mathrm{tg}\varphi_1}{1+\mathrm{tg}^2\omega}+(\mathrm{tg}\beta-\mathrm{tg}\psi)\frac{1+2\mathrm{tg}\varphi\mathrm{tg}_{\psi}-\mathrm{tg}^2\psi}{(1+\mathrm{tg}^2\psi)^2}-(\mathrm{tg}\beta-\mathrm{tg}\omega)\frac{1+2\mathrm{tg}\varphi_1\mathrm{tg}\omega-\mathrm{tg}^2\omega}{(1+\mathrm{tg}^2\omega)^2}=\frac{\lambda\left(1-\frac{C_1}{C}\right)}{h},$$

$$h=(\lambda_1+d_1)\frac{(1+\mathrm{tg}^2\omega)^2}{2\mathrm{tg}^3\omega-(k+3f_1)\mathrm{tg}^2\omega+2kf_1\mathrm{tg}\omega+k-f_1},$$

$$h=\lambda\frac{1+kf}{1+f^2}\frac{(1+\mathrm{tg}^2\psi)^2}{2\mathrm{tg}^3\psi-(k+3f)\mathrm{tg}^2\psi+2kf\mathrm{tg}\psi+k-f},$$

$$x_0=\frac{h+2H/3}{k},$$

К содержанию

$$\int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\mathrm{tg}\varphi} \frac{\lambda\eta_1'(p)}{k-p}dp + \int\limits_{\mathrm{tg}\varphi}^{\mathrm{tg}\psi} \frac{\lambda\eta_2'(p)}{k-p}dp = x_0\,,$$

где $\eta'(p)$ – производная функции по параметру p.

Уравнение поверхности скольжения под бермой имеет вид [2]:

$$H - y_4 = \frac{C_1}{\gamma}\frac{\left(1+y_4'^2\right)^2}{2y_4'^3 - 3f_1y_4'^2 - f_1}\,.$$

Производную поверхности скольжения на границе участков откоса и бермы b определяем из условия отсутствия ее излома:

$$(\lambda_1 + d_1)\frac{\left(1+b^2\right)^2}{2b^3 - (k+3f_1)b^2 + 2kf_1b + k - f_1} = \frac{C_1}{\gamma}\frac{\left(1+b^2\right)^2}{2b^3 - 3f_1b^2 - f_1}\,.$$

И, наконец, система уравнений, требующая выполнения условия предельного равновесия и осуществляющая связь λ и H:

$$\begin{cases} \displaystyle\int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\mathrm{tg}\varphi} \left[\frac{\gamma(p-f)}{1+fp}\lambda\eta_1(p) - \frac{C\left(1+p^2\right)}{1+fp}\right]\frac{\lambda\eta_1'(p)}{k-p}dp + \int\limits_{\mathrm{tg}\varphi}^{\mathrm{tg}\psi}\left[\frac{\gamma(p-f)}{1+p^2}\lambda\eta_2(p) - C\right]\frac{\lambda\eta_2'(p)}{k-p}dp + \\ \displaystyle + \int\limits_{\mathrm{tg}\omega}^{b}\left[\frac{\gamma(p-f_1)}{1+p^2}(\lambda_1+d_1)\eta_3(p) - C_1\right]\frac{(\lambda_1+d_1)\eta_3'(p)}{k-p}dp + \frac{C_1^2}{\gamma}\int\limits_{b}^{\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}\left[\frac{(p-f_1)}{1+p^2}\eta_4(p) - 1\right]\frac{\eta_4'(p)}{-p}dp = 0 \\ \displaystyle\int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\mathrm{tg}\varphi} \frac{\lambda\eta_1'(p)}{k-p}dp + \int\limits_{\mathrm{tg}\varphi}^{\mathrm{tg}\psi}\frac{\lambda\eta_2'(p)}{k-p}dp + \int\limits_{\mathrm{tg}\omega}^{b}\frac{(\lambda_1+d_1)\eta_3'(p)}{k-p}dp = \frac{H}{k} \end{cases}$$

Данных уравнений достаточно для определения всех неизвестных.

Рассмотрим пример расчета анизотропного откоса. Требуется определить предельную высоту откоса H, имеющего поверхность ослабления, выходящую в его основание под углом $\beta = 20^\circ$. Физико-механические характеристики пород и поверхности ослабления: $\gamma = 2{,}5\,\text{т/м}^3; C' = 5\,\text{т/м}^2; C = 10\,\text{т/м}^2; \varphi' = 15^\circ; \varphi = 30^\circ$, угол откоса $\alpha = 40^\circ$.

Предположим, что угол наклона криволинейной части поверхности скольжения в точке преломления поверхности скольжения $\psi > \varphi$ и точка преломления находятся под откосом, тогда ее форма описывается уравнениями [2, 3]:

$$kx - y_2 = (\lambda + d)\frac{\left(1+y_2'^2\right)^2}{2y_2'^3 - (k+3f)y_2'^2 + 2kfy_2' + k - f} \equiv (\lambda + d)\eta_2(p), \quad y_2' > \mathrm{tg}\varphi, \quad \text{откос}$$

$$H - y_3 = \frac{C}{\gamma}\frac{\left(1+y_3'^2\right)^2}{2y_3'^3 - 3fy_3'^2 - f} \equiv \frac{C}{\gamma}\eta_3(p), \qquad \mathrm{tg}\varphi < y_3' \le \mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right), \quad \text{берма}$$

Тангенс угла наклона поверхности скольжения в точке стыка откоса и бермы b определится из уравнения:

К содержанию

$$(\lambda+d)\frac{\left(1+b^2\right)^2}{2b^3-(k+3f)b^2+2kfb+k-f}=\frac{C}{\gamma}\frac{\left(1+b^2\right)^2}{2b^3-3fb^2-f}\,.$$

Условие в точке стыка имеет вид (9):

$$\frac{\operatorname{tg}\psi-\operatorname{tg}\varphi}{1+\operatorname{tg}^2\psi}-\frac{\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\varphi'}{1+\operatorname{tg}^2\beta}+(\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\psi)\frac{1+2\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\psi-\operatorname{tg}^2\psi}{\left(1+\operatorname{tg}^2\psi\right)^2}=\frac{\lambda-\lambda'}{h}\,.$$

Высота точки излома выражается уравнениями:

$$h=(\lambda+d)\frac{\left(1+\operatorname{tg}^2\psi\right)^2}{2\operatorname{tg}^3\psi-(k+3f)\operatorname{tg}^2\psi+2kf\operatorname{tg}\psi+k-f}\,,$$

$$h=(k-\operatorname{tg}\beta)x_0\,.$$

Абсцисса точки излома:

$$\frac{H}{k}-\int\limits_{\operatorname{tg}\psi}^{b}\frac{(\lambda+d)\eta_2'(p)}{k-p}dp=x_0\,,$$

где $\eta_2'(p)$ – производная функции по параметру p.

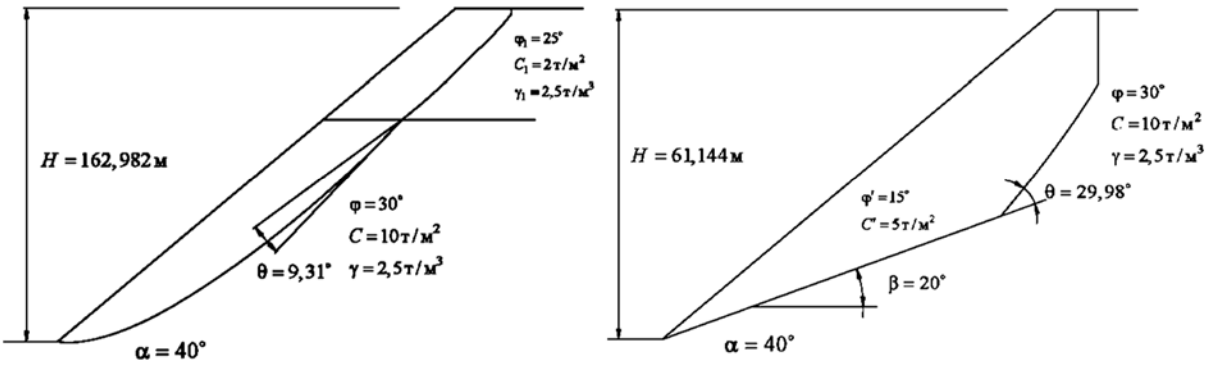
Система уравнений для определения $\lambda+d$ и H:

$$\begin{cases}\int\limits_0^{x_0}\frac{\gamma(kx-\operatorname{tg}\beta x)(\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\varphi')-C'\left(1+\operatorname{tg}^2\beta\right)}{\left(1+\operatorname{tg}^2\beta\right)}dx+\int\limits_{\operatorname{tg}\psi}^{b}\left[\frac{p-f}{1+p^2}(\lambda+d)\gamma\eta_2(p)-C\right]\frac{(\lambda+d)\eta_2'(p)}{k-p}dp+\\ +\frac{C^2}{\gamma}\int\limits_b^{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}\left[\frac{p-f}{1+p^2}\eta_3(p)-1\right]\frac{\eta_3'(p)}{-p}dp=0,\\ \operatorname{tg}\beta x_0+\int\limits_{\operatorname{tg}\psi}^{b}\frac{(\lambda+d)\eta_2'(p)}{k-p}pdp+\int\limits_b^{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}-\frac{C}{\gamma}\eta_3'(p)dp+\frac{2C}{\gamma}\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)=H.\end{cases}\,.$$

Данных уравнений достаточно для определения всех неизвестных.

На рис. 3 показаны потенциальные поверхности скольжения и предельные параметры неоднородного и анизотропного откосов для рассмотренных выше примеров.

В заключение отметим, что уравнениями (9, 10) не исчерпываются все условия в точках излома, которые могут иметь место при решении задач для неоднородных и анизотропных откосов. Подобные условия находятся аналогично с применением уравнения (8) и использованием соответствующих функционалов (2, 3, 5), описывающих условия равновесия для конкретных углов наклона поверхностей скольжения и ослабления.



а *б*

Рис. 3 – Примеры расчета неоднородного (*а*) и анизотропного (*б*) откосов

К содержанию

Литература

1. Жабко А.В. Расчет устойчивости откосов / А.В. Жабко // Маркшейдерия и недропользование. – 2011. – № 5. – С. 37 - 39.

2. Жабко А.В. Теория расчета устойчивости оснований и откосов / А.В. Жабко // Известия Уральского государственного горного университета. – 2011. – № 25 – 26. – С. 59 - 65.

3. Жабко А.В. Предельные параметры плоских однородных откосов / А.В.Жабко // Изв. вузов. Горный журнал. – 2012. – № 6. – С. 22 - 25.

4. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – Спб., 1998. – 208 с. (Минтопэнерго РФ. РАН. Гос. НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой науч. центр ВНИМИ).

К содержанию

УДК 622.831

Паньков Иван Леонидович
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых»,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
614990, Пермский край, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д. 29
Тел. +7 (342) 2-198-438,
e-mail:ivpan@mi-perm.ru

Морозов Иван Александрович
студент горно-нефтяного факультета,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
614990, Пермский край, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д. 29
Тел. +79194528453,
e-mail:ivan.morozov.perm@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ МЕЖДУ ТОРЦАМИ ОБРАЗЦОВ РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТЫ И ПЛИТАМИ ПРЕССА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОЛЯНЫХ ПОРОД

Аннотация:

Определен характер влияния коэффициента трения между торцами образца и плитами пресса на значения предела прочности, разрушающей деформации, удельной энергоёмкости деформирования, модуля спада соляных пород, получаемые при сжатии образцов различной высоты. Полученные результаты предназначены для совершенствования методики испытания горных пород на одноосное сжатие.

Ключевые слова:
одноосное сжатие, торцевые условия, коэффициент трения, предел прочности, разрушающая деформация, удельная энергоёмкость деформирования, модуль спада

Pankov Ivan Leonidovich
Candidate of Engineering Sciences,
The Permsky National Research Polytechnic University, assistant professor
614990, Permsky krai,
Komsomolsky prospect, 29
Tel. +7 (342) 2-198-438,
e-mail:ivpan@mi-perm.ru

Morozov Ivan Aleksandrovich
The Permsky National Research Polytechnic University, student
614990, Permsky krai,
Komsomolsky prospect, 29
Tel.+79194528453,
e-mail:ivan.morozov.perm@yandex.ru

RESEARCHING THE INFLUENCE OF FRICTION RATIO BETWEEN SAMPLES OF VARIOUS HEIGHT AND PRESS PLATES ON THE VALUES OF SALT ROCKS' MECHANICAL PROPERTIES

Annotation:

The influence pattern of friction ratio between samples and press plates on ultimate strength, breaking strain, specific power intensity of deforming and salt rocks modulus fall obtained during compression tests on samples of various heights is defined. The results obtained are intended for improvement the methodology of rock salt uniaxial compression tests.

Key words:
uniaxial compression, butt conditions, friction ratio, ultimate strength, breaking strain, specific power intensity of deforming, modulus of fall.

Для обеспечения безопасности ведения горных работ на всех стадиях горного производства необходимым условием является наличие объективной информации о свойствах пород, базирующейся на современных экспериментальных и теоретических методах их определения [1]. Важнейшим условием безопасного ведения горных работ является соответствие параметров системы разработки горно-геологическим условиям конкретных отрабатываемых участков. При расчете параметров системы разработки одним из основных показателей устойчивости горных выработок является предел прочности на одноосное сжатие. Несмотря на то что ГОСТ 21153.2-84 [2] регламентирует условия проведения лабораторных испытаний по определению предела прочности, при массовых испытаниях горных пород не всегда есть возможность провести эксперимент в соответствии с установленными требованиями.

К содержанию

Как известно, значение предела прочности, получаемое при одноосном сжатии, значительно зависит от величин сил трения между торцами образца и плитами пресса [3, 4, 5, 6]: с возрастанием силы трения фиксируется увеличение значения предела прочности, при этом интенсивность ее влияния на получаемое значение показателя с увеличением высоты образца снижается. Наблюдаемый факт упрочнения образца объясняется формированием неоднородного напряженного состояния его приконтактных зон и выражается в образовании «конусов трения». В свою очередь снижение трения ведет к столбчатому разрушению образца за счет прорастания субвертикальных трещин без образования «конусов трения» [3, 5].

Несмотря на существенное влияние трения на характер деформирования и разрушения, ни в одной из указанных работ не приводятся значения зависимости влияния коэффициента трения на определяемые механические показатели. Таким образом, для совершенствования методики испытания горных пород актуальными являются исследования, направленные на изучение влияния коэффициента трения на механические показатели пород при сжатии.

Исследование влияния коэффициента трения между торцами и плитами пресса на механические показатели пород при сжатии образцов различной высоты проводилось на примере 49 образцов тонко-среднеслоистой каменной соли Усть-Яйвинского участка Верхнекамского калийного месторождения.

Коэффициенты трения определялись на универсальном испытательном комплексе «MTS 816» на образцах высотой 30 мм и диаметром 100 мм для контактов «соль-фторопласт», «соль-металл», «соль-абразивный материал» (абразивный материал - шкурка марки 12-Н СФЖ У1С). С этой целью образец фиксировался в нижней матрице испытательной установки с помощью раствора гипса, а к верхней матрице жестко крепились испытываемые материалы: абразивный материал, лист фторопласта, специально изготовленная металлическая пластина. Каждый образец проходил серию экспериментов при разных величинах вертикальной нагрузки: от 2,4 до 55,2 МПа с шагом 4,8 МПа. Схема нагружения образца, помещённого в испытательную установку, приведена на рис. 1.

По результатам испытаний для каждого образца строилась зависимость силы трения $F_{\text{тр}}$, возникающей между испытываемым материалом и торцом образца, от перемещения h нижней матрицы установки с помещенным в нее образцом относительно верхней матрицы (рис. 2).

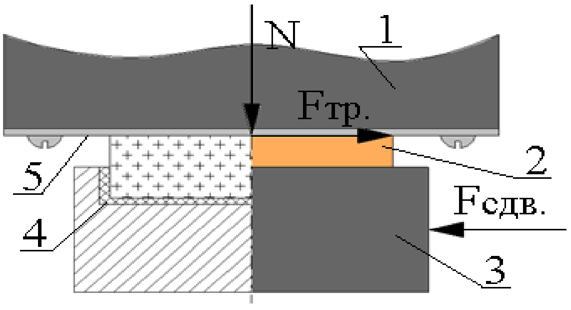


Рис. 1 – Схема нагружения образца при испытании на «трение»:
1 – верхняя матрица; *2* – образец каменной соли;
3 – нижняя матрица; *4* – слой гипса;
5 – пластина с прикрепленным испытываемым материалом.
N – вертикальная сила,
$F_{\text{тр}}$ – сила трения между образцом и испытываемым материалом,
$F_{\text{сдв}}$ – сдвиговая сила

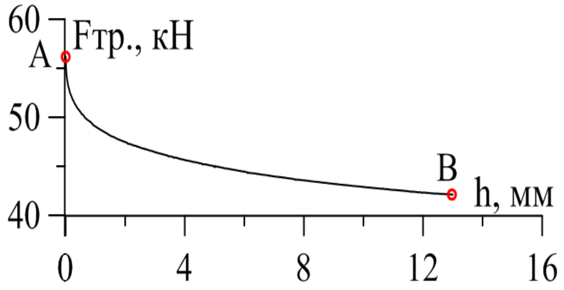


Рис. 2 – Зависимость силы трения $F_{\text{тр}}$ от перемещения h одного из образцов относительно верхней матрицы установки: А и В – точки, соответствующие силам трения покоя и скольжения

К содержанию

Определение коэффициента трения покоя, соответствующего пиковому значению силы трения, и коэффициента трения скольжения, определяющего величину силы трения скольжения, оказывающей сопротивление движению в процессе перемещения образца по испытываемому материалу, осуществлялось согласно закону Амонтона [7, 8]:

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N},$$

где μ – коэффициент трения покоя (скольжения); N – вертикальная сила, действующая на образец в испытательной установке; – сила трения между образцом и испытываемым материалом, которая определялась в точках А и В (рис.2), соответствующих силе (коэффициенту) трения покоя (точка А) и силе (коэффициенту) трения скольжения (точка В).

Искомые значения коэффициентов трения покоя и скольжения (табл. 1) определялись как средние значения по трем образцам для каждого типа контакта.

Таблица 1

Значения коэффициентов трения различных типов контактов

Контакт	Коэффициент трения покоя	Коэффициент трения скольжения
«Соль-абразивный материал»	0,50 ±0,1	0,33 ±0,09
«Соль-металл»	0,30 ±0,03	0,23 ±0,03
«Соль-фторопласт»	0,05 ±0,01	0,01 ±0,004

Испытания на сжатие проводились на образцах диаметром 100 мм и отношением высоты к диаметру 0,75; 1,00; 1,25; 1,50 на испытательной установке «ToniNorm 2041» при определенных ранее торцевых условиях.

На рис. 3*а*, 3*б*, 3*в* представлены фотографии образцов, испытанных на сжатие, с отношением высоты к диаметру, равным 1. На рис. 3, *а* представлен образец, испытанный при контакте «соль-абразивный материал». В данном случае на торцах наблюдалось образование ярко выраженных «конусов трения» (рис. 3, *а*). При испытании образца, контактирующего с металлом, также наблюдалось образование «конусов трения» (рис. 3, *б*), но с менее четкой границей. Рис. 3, *в* соответствует столбчатому разрушению образца, испытанному при контакте «соль-фторопласт», без образования «конусов трения» за счет прорастания субвертикальных трещин. Полученные типы разрушения соответствуют данным [3, 5, 6].

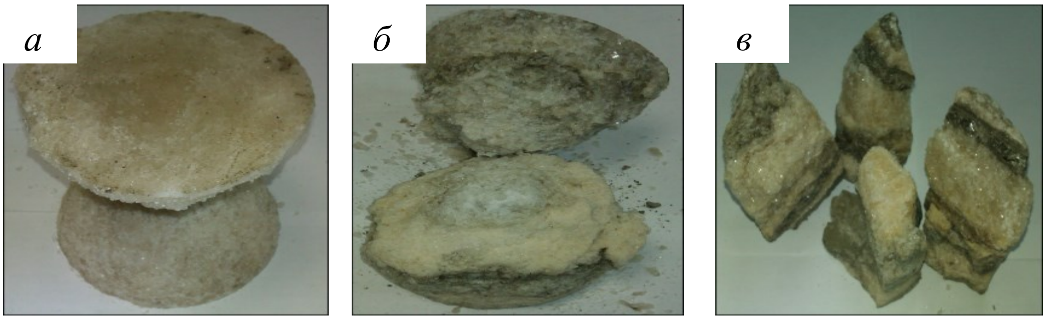


Рис. 3 – Разрушение образцов каменной соли с отношением высоты к диаметру 1 при различных торцевых условиях:

а – сжатие по абразивному материалу; *б* – сжатие по металлу; *в* – сжатие по фторопласту

К содержанию

По результатам экспериментов на сжатие каждого образца строилась полная диаграмма деформирования (рис. 4), и по методике, описанной в [4], определялся следующий комплекс механических показателей: предел прочности, разрушающая деформация, предел упругости, упругая деформация, секущий модуль деформации (тангенс угла наклона прямой, проходящей через начало координат и точку на диаграмме деформирования, соответствующую пределу прочности), касательный модуль деформации (тангенс угла наклона линейной части диаграммы деформирования, соответствующей упругой области), модуль упругости, модуль спада (тангенс угла наклона линейной части диаграммы деформирования, соответствующей запредельной области деформирования), удельная энергоемкость деформирования.

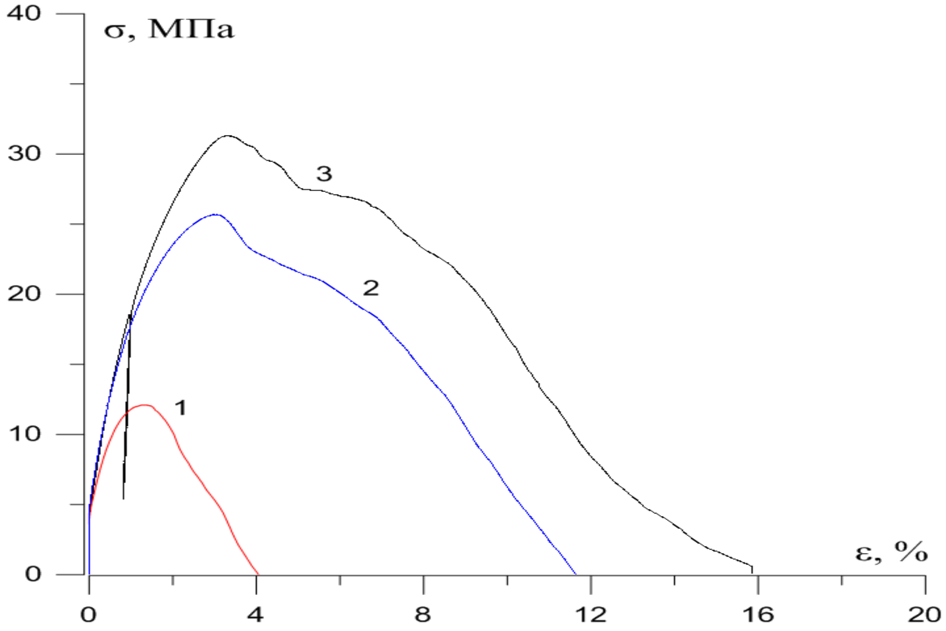


Рис. 4 – Характерные диаграммы деформирования, полученные при сжатии образцов каменной соли с отношением высоты к диаметру 1 для торцевых условий:
1 – «соль-фторопласт»; 2 – «соль-металл»; 3 – «соль-абразивный материал»

Для анализа полученных данных экспериментальных исследований построены качественные зависимости влияния коэффициента трения покоя между торцами образца и плитами пресса при сжатии образцов каменной соли различной высоты на предел прочности (рис. 5, *а*), разрушающую деформацию (рис. 5, *б*), удельную энергоемкость деформирования (рис. 5, *в*), модуль спада (рис. 5, *г*).

На рис. 5, *а* видно, что при отношении высоты к диаметру образца 0,75 и увеличении коэффициента трения покоя с 0,1 до 0,5 происходит рост значения предела прочности с 22 до 36 МПа. При этом разрушающая деформация возрастает с 3 до 7% (рис. 5, *б*), удельная энергоемкость деформирования – с 0,5 до 4,5 МДж/м^3 (рис. 5, *в*). Увеличение отношения высоты к диаметру с 0,75 до 1,50 ведет к снижению влияния коэффициента трения на значения предела прочности, разрушающей деформации и удельной энергоемкости деформирования. Так для образцов с отношением высоты к диаметру 1,50 увеличение коэффициента трения с 0,1 до 0,5 влечет за собой рост значения предела прочности с 20 до 24 МПа (рис. 5, *а*), разрушающей деформации – с 2 до 3% (рис. 5, *б*), удельной энергоемкости деформирования – с 0,5 до 1,0 МДж/м^3 (рис. 5, *в*). При увеличении отношения высоты к диаметру образца с 0,75 до 1,50 наблюдается рост модуля спада: при отношении высоты к диаметру 0,75 модуль спада с увеличением коэффициента трения с 0,1 до 0,5 изменяется с 0,8 до 0,4 ГПа, а при отношении высоты к диаметру 1,50 – с 1,6 до 0,8 ГПа (рис. 5, *г*).

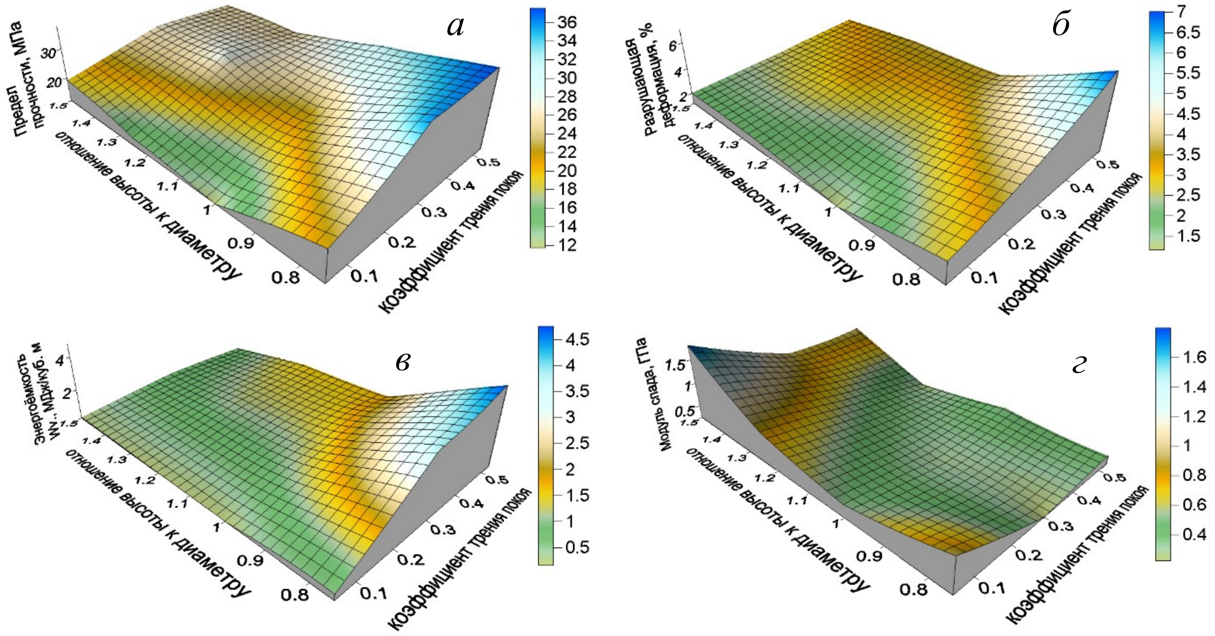


Рис. 5 – Характер изменения *а* – предела прочности; *б* – разрушающей деформации; *в* – удельной энергоемкости деформирования; *г* – модуля спада при сжатии каменной соли в зависимости от коэффициента трения покоя и высоты образца

В ходе экспериментальных исследований по изучению влияния торцевых условий на механические показатели соляных пород при сжатии образцов различной высоты определены коэффициенты трения контактов: «соль-абразивный материал», «соль-металл», «соль-фторопласт»; проведены экспериментальные исследования по сжатию образцов соляных пород при определенных ранее контактных условиях; определен характер влияния торцевых условий и высоты образца на предел прочности, разрушающую деформацию, удельную энергоемкость деформирования, модуль спада.

Установлено, что с ростом высоты образца и уменьшением коэффициента трения между его торцами и плитами пресса наблюдается снижение предела прочности, уменьшение удельной энергоемкости деформирования и разрушающей деформации. При этом фиксируется увеличение модуля спада.

Также необходимо отметить, что наиболее полно условия одноосного сжатия обеспечиваются при контакте «соль-фторопласт», о чем свидетельствует столбчатое разрушение высоких образцов при данном контакте за счет прорастания субвертикальных трещин.

В рамках дальнейших исследований планируется провести серию дополнительных испытаний с целью повышения статистической значимости экспериментальных данных и определения функциональных зависимостей вида

$$P_0 = f\left(P, \frac{h}{d}, \mu\right), \qquad (1)$$

где P_0 – значение механического показателя, соответствующее одноосному сжатию, которое определяется как функция f от значения механического показателя P, полученного при лабораторных испытаниях на сжатие в условиях, несоответствующих условиям одноосного сжатия («одноосное сжатие» с высокими значениями коэффициентов трения на контактах), отношения высоты к диаметру образца $\frac{h}{d}$ и коэффициента трения покоя μ между торцами образца и плитами пресса.

При оценке устойчивости соляного массива ведущую роль играют прочностные характеристики, получаемые на образцах в лабораторных условиях.

В настоящее время зависимости, применяемые для расчета значений механических показателей соляных пород, в явном виде не содержат коэффициентов трения [9]. Зависимости вида (1) позволят более точно определять показатели соляных пород, что в свою очередь повысит точность оценки устойчивости элементов системы разработки.

К содержанию

Литература

1. Барях А.А. Фундаментальные основы мониторинга безопасности освоения георесурсов в сложных горно-геологических условиях / А.А. Барях// «Дни наук о Земле на Урале». Круглый стол «Горно-металлургический комплекс Урала – современные проблемы и пути их решения»:материалы всероссийской научной конференции с международным участием – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2012. –160 с.
2. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии.– М.: Изд-во стандартов, 1985. –10 с.
3. Проскуряков Н.М. Физико-механические свойства соляных пород / Н.М. Проскуряков, Р.С. Пермяков, А.К.Черников. – Л.: Недра, 1973.–271 с.
4. Барях А.А.Физико-механические свойства соляных пород Верхнекамского калийного месторождения: учеб. пособие / А.А. Барях, В.А. Асанов, И.Л. Паньков. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008.– 199 с.
5. Баклашов И.В. Геомеханика: учебник для вузов:в 2 т. / И.В.Баклашов. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – Т. 1. Основы геомеханики.– 208 с.
6. Карташов Ю.М. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М.Карташов и др. – М.: Недра, 1979.– 269 с.
7. Пенкин Н.С. Основы трибологии и триботехники: учеб. пособие / Н.С. Пенкин, А.Н. Пенкин, В.М. Сербин. – М.: Машиностроение, 2008.– 206 с.
8. Тагильцев С.Н. Базовые понятия геомеханики – трение и деформация / С.Н. Тагильцев // Геомеханика в горном деле: доклады научно-технической конференции 12 - 14 октября 2011 г. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012.–261 с.
9. Указания по защите рудников от затопления и охране объектов на земной поверхности от вредного влияния подземных горных разработок в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей.– Л.: ВНИИГ, 2004. –88с.

К содержанию

УДК 622.271.45:004.9

Рыбин Вадим Вячеславович
старший научный сотрудник, доцент,
кандидат технических наук,
ГоИ КНЦ РАН,
184209, Мурманская область,
г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24;
e-mail: rybin@goi.kolasc.net.ru

Калюжный Антон Сергеевич
аспирант,
ГоИ КНЦ РАН,
184209, Мурманская область,
г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24,
e-mail: anton26@goi.kolasc.net.ru

Потапов Даниил Андреевич
аспирант,
ГоИ КНЦ РАН
184209, Мурманская область,
г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24,
e-mail: potapovd@goi.kolasc.net.ru

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ДВУХЪЯРУСНЫХ ОТВАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «GALENA»

Аннотация:

Проанализированы конструкция отвалов и технология отвалообразования действующих отвалов рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК».
Исследована возможность уменьшения бермы безопасности между ярусами отвалов скальных пород до половины высоты вышележащего яруса. С помощью лицензионного программного комплекса «Galena» произведен расчет устойчивости двухъярусных отвалов скальных пород с различными значениями ширины берм безопасности и высоты ярусов. Расчеты показали, что конструкцию отвалов с бермой безопасности в половину высоты вышележащего яруса можно считать устойчивой (в диапазоне изменения высоты верхнего яруса от 70 м до 120 м). Произведена оценка возможности разгрузки автосамосвалов «за бровку» откоса яруса. Установлено, что влияние большегрузных автосамосвалов типа CAT-785C на устойчивость ярусов и отвалов является незначительным и не приводит к нарушению их устойчивости.

Ключевые слова: проектирование карьеров, многоярусный отвал, высота яруса, ширина бермы безопасности, устойчивость отвалов, коэффициент запаса устойчивости.

Vadim V. Rybin – PhD (Eng.), Senior Research worker. The Mining Institute of Kola Scientific Center, Russian Academy of Sciences
24, Fersman st., 184209 the Apatites,
Murmansk region, Russia
e-mail: rybin@goi.kolasc.net.ru

Anton S. Kaliuzhny – P-G. student
The Mining Institute of Kola Scientific Center,
Russian Academy of Sciences
24 Fersman st., 184209 the Apatites,
Murmansk region, Russia
e-mail: anton26@goi.kolasc.net.ru

Daniil A. Potapov – P-G. student
The MiningInstitute of Kola Scientific Center,
Russian Academy of Sciences.
24 Fersman st., 184209 the Apatites,
Murmansk region, Russia
e-mail: potapovd@goi.kolasc.net.ru

ASSESSMENT THE STABILITY OF TWO-LEVEL DUMPS USING "GALENA" SOFTWARE

Abstract:

Structure and technology of dumping of the Zhelezny mine operating dumps, “Kovdorsky GOK” JSC, are analysed.
The possibility of safety berm narrowing between the levels of rock dumps up to half of an upper level’s height is studied. The stability of two-level hard rock dumps having different values of safety berms’ width and levels’ height was calculated employing the licensed software “Galena”. The calculations showed that a construction of dumps having the safety berm which height is half of the upper level’s height can be considered a stable one (over the range of varying of the upper level’s height from 70m to 120 m). The possibility of unloading dump trucks over the edge of a level’s slope was assessed. It was established that influence of heavy dump trucks like CAT-785C on the levels and dumps stability is negligible and doesn’t violate their stability.

Keywords: open pits’ design, multilevel dump, level’s height, a safety berm width, dumps stability, stability coefficient.

К содержанию

Отвалы, формируемые при отработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, должны быть, с одной стороны, компактны, т.к. они занимают достаточно большую площадь земельного отвода горнодобывающего предприятия, с другой стороны, устойчивы. За более чем 50 лет ведения горных работ вокруг карьера рудника «Железный» образовался целый пояс отвалов, суммарная площадь которых превышает площадь горного отвода. Стратегии развития предприятия подразумевают углубление основного и разработку нового апатит-штаффелитового карьера, что подразумевает увеличение объемов вскрыши, поэтому вопрос оценки устойчивости отвалов здесь является весьма актуальным с точки зрения экономики и безопасности.

Для размещения требуемых объемов пустых пород в границах земельного отвода предложено использовать двухъярусную конструкцию отвалов. Высота первого яруса в среднем составляет около 100 –140 м, высота второго 70 –100 м. Угол наклона откоса ярусов отвалов по действующему проекту составляет 35°. Ширина площадок между ярусами принята равной половине высоты вышележащего яруса.

Исходной информацией для выполнения работы по договору служит ТЭО… [1].

Физико-механические свойства отвальной массы таковы:

- плотность отвальной массы в момент отсыпки $\gamma_{от}$ = 2,0 т/м^3;
- сцепление $C_{от}$ = 3,3 т/м^2;
- угол внутреннего трения φ = 30°.

Физико-механические свойства пород основания отвала по выветрелым гнейсам и фенитам следующие:

- плотность $\gamma_о$= 2,7 т/м^3;
- сцепление $C_о$ = 11 т/м^2;
- угол внутреннего трения по отложениям $\varphi_о$ = 28,5°.

Конструктивные параметры отвала (неизменяемые):

- угол наклона отвальных ярусов $\alpha_я$ = 35°.

На основе данных, принятых в ТЭО 2011 г., по моделированию отвалов 2 и 3 с конструкцией и размещением по площадипри варианте бортового содержания 15%, была проведена оценка устойчивости отвалов по наиболее критическим разрезам 1 – 4, показанным на рис. 1.

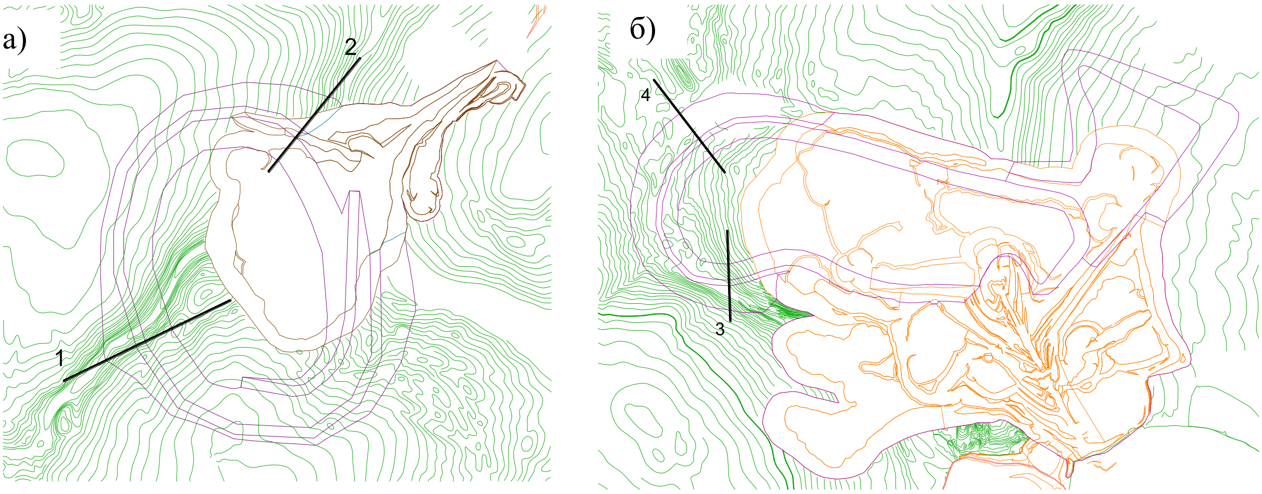


Рис. 1 – Планы отвалов ОАО «Ковдорский ГОК», соответственно, *а* и *б*

Оценка производилась с использованием лицензированного программного комплекса «Galena 6.0». Методика оценки устойчивости состояла в расчете баланса сдвигающих и удерживающих сил по автоматически выделяемой в отвальной массе наиболее напряженной поверхности [2].

К содержанию

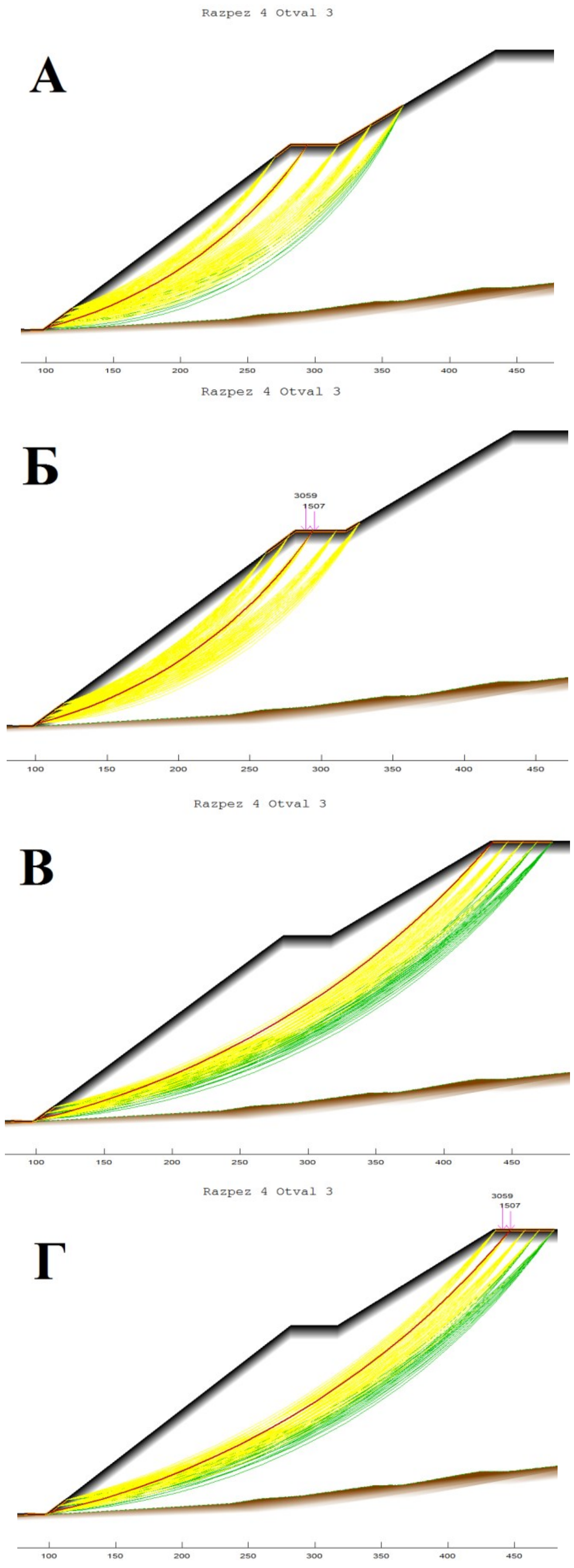


Рис. 2 – Схемы расчета устойчивости отвалов:

А – расчет устойчивости яруса; Б – расчет устойчивости яруса с самосвалом;
В – расчет устойчивости отвала; Г – расчет устойчивости отвала с самосвалом

К содержанию

По четырем разрезам, показанным на рис. 1, были рассмотрены следующие варианты расчета устойчивости отвалов:

А. Расчет устойчивости яруса (рис. 2, А);

Б. Расчет устойчивости яруса при условии расположения задних колес автосамосвала CAT-785C на расстоянии 5 м от бровки уступа (66,7 % массы) и переднего колеса на расстоянии 11 м от бровки уступа (33,3 % массы) (рис. 2, Б);

В. Расчет устойчивости отвала (рис. 2, В);

Г. Расчет устойчивости отвала при условии расположения задних колес автосамосвала CAT-785C на расстоянии 5 м от бровки уступа (66,7 % массы) и переднего колеса на расстоянии 11 м от бровки уступа (33,3 % массы) (рис. 2, Г).

Результаты оценки устойчивости отвала и их анализ

В результате оценки устойчивости отвала с различными формами откоса были получены результаты, приведенные в табл. 1 и 2.

В соответствии с методическими указаниями ВНИМИ 1972 г. рекомендуемая величина коэффициента запаса устойчивости составляет $К_{\text{з.у}} \geq 1{,}2$ [3]. Тогда в табл. 1 при $К_{\text{з.у}} < 1$ (красный цвет) отвал является неустойчивым, при $1 \leq К_{\text{з.у}} < 1{,}2$ (желтый цвет) отвал является недостаточно устойчивым (находящимся в предельном состоянии), при $К_{\text{з.у}} \geq 1{,}2$ (зеленый цвет) отвал является устойчивым. Результаты оценки устойчивости, приведенные в табл. 1, получены на основе данных, приведенных выше.

Таблица 1

Коэффициенты запаса устойчивости ($К_{\text{з.у}}$) по разрезам 1 – 4

φ = 30°	$К_{\text{з.у.я}}$	$К'_{\text{з.у.я.}}$	$К_{\text{з.у.о}}$	$К'_{\text{з.у.о.}}$
Разрез 1 отвала 2	1,05	1,00	1,16	1,14
Разрез 2 отвала 2	1,08	1,05	1,18	1,17
Разрез 3 отвала 3	1,16	1,11	***1,22***	***1,20***
Разрез 4 отвала 3	1,02	***0,99***	1,14	1,13

Примечание: $К_{\text{з.у.я}}$ – коэффициент запаса устойчивости яруса;
$К'_{\text{з.у.я.}}$ –коэффициент запаса устойчивости яруса с учетом влияния самосвала;
$К_{\text{з.у.о}}$ – коэффициент запаса устойчивости отвала;
$К'_{\text{з.у.о.}}$–коэффициент запаса устойчивости отвала с учетом влияния самосвала.

Из анализа табл. 1 видно, что при сцеплении $С_{\text{от}} = 3{,}3$ т/ м^2 и угле внутреннего трения φ = 30° отвалы 2 и 3 по большинству рассмотренных разрезов находятся в предельном состоянии ($1 \leq К_{\text{з.у}} < 1{,}2$), в одном случае $К_{\text{з.у}} < 1$ (нижний ярус отвала 3 по разрезу 4 с учетом пригрузки от самосвала) и лишь в двух случаях из 16 $К_{\text{з.у}} \geq 1{,}2$. В целом подобную ситуацию нельзя признать устойчивой.

В то же время, проанализировав параметры реально существующих к настоящему времени отвалов на промплощадке ОАО «Ковдорский ГОК» (рис. 3), можно прийти к выводу, что их физико-механические свойства выше из-за уплотнения отвальной массы, чем те, которые были приняты в предварительныхрекомендациях [1]. Оценка устойчивости уже существующих отвалов методом обратного расчета показывает, что такие параметры могут быть обеспечены при сцеплении ($С_{\text{от}} = 3{,}3$ т/м^2) и угле внутреннего тренияφ = 35°.Применив значение угла внутреннего трения, равное φ = 35°, к оценке устойчивости отвалов на предельном контуре, получим результаты, представленные в табл. 2.

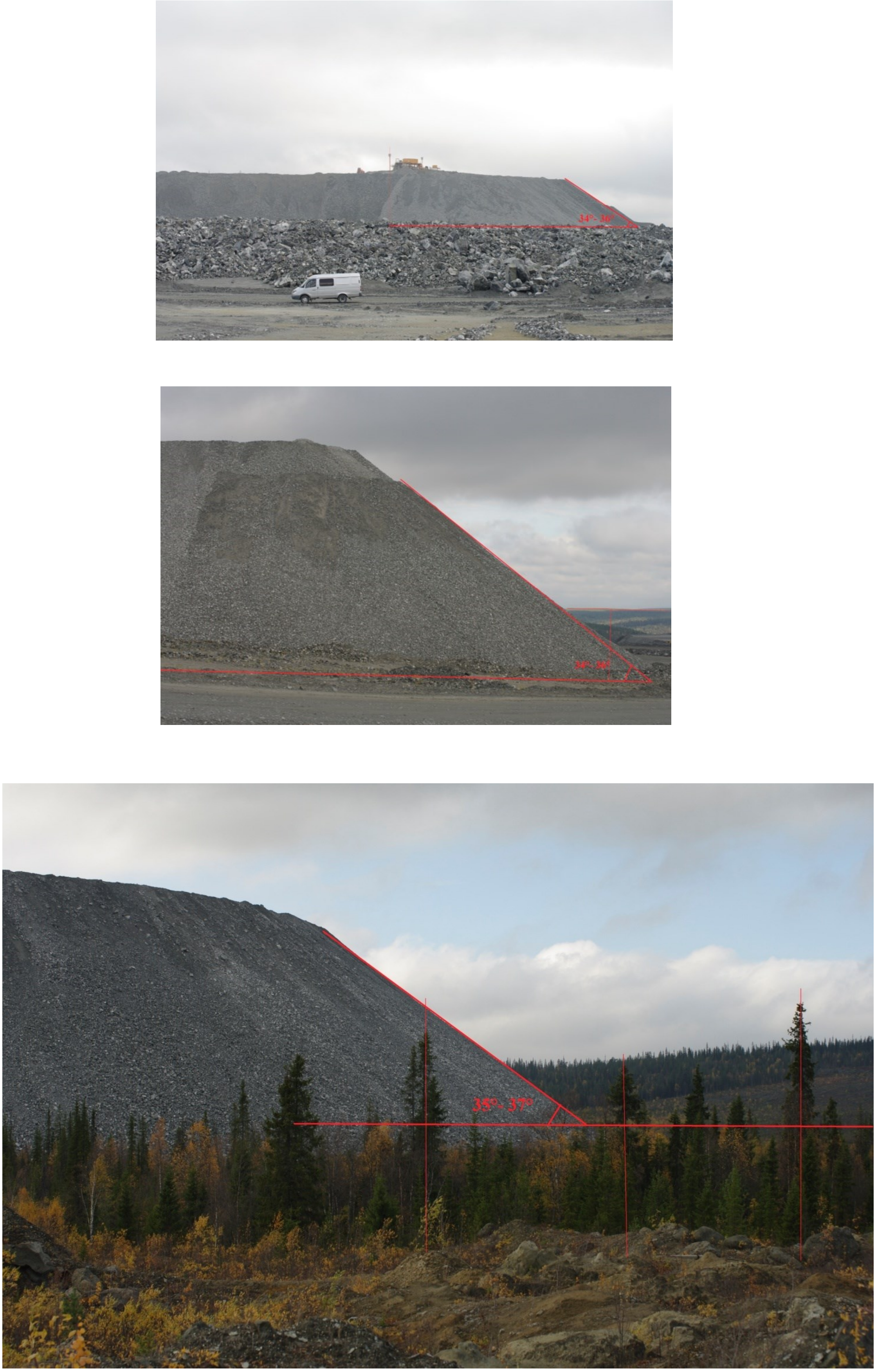


Рис. 3 – Угол естественного откоса отвала 3 ОАО «Ковдорский ГОК»

К содержанию

Таблица 2

Коэффициенты запаса устойчивости по разрезам 1 – 4

φ= 35°	$K_{з.у.я}$	$K'_{з.у.я}$	$K_{з.у.о}$	$K'_{з.у.о}$
Разрез 1 отвала 2	1,22	1,17	1,38	1,36
Разрез 2 отвала 2	1,27	1,24	1,41	1,40
Разрез 3 отвала 3	1,35	1,30	1,45	1,43
Разрез 4 отвала 3	1,19	1,16	1,36	1,35

Разрез 1.Отвал, сформированный двумя ярусами с промежуточной площадкой шириной 50 м, находится в предельном равновесии по нижнему ярусу и в целом устойчив.

Разрез 2.Отвал, сформированный двумя ярусами с промежуточной площадкой шириной 50 м, в целом устойчив.

Разрез 3.Отвал, сформированный двумя ярусами с промежуточной площадкой шириной 35 м, в целом устойчив. Расчетный показатель $K_{з.у}$ несколько выше показателей других разрезов, т. к. основание отвала находится в русле ручья, которое своей формой удерживает породы отвала от обрушения.

Разрез 4.Отвал, сформированный двумя ярусами с промежуточной площадкой шириной 35 м, находится в предельном равновесии по нижнему ярусу и в целом устойчив.

Основные выводы:

1. Наклон основания (4° – 6° к горизонту) существенного влияния на коэффициент запаса устойчивости не оказывает.

2. Отвал 2 по разрезу 1 по результатам расчета устойчивости в общем можно считать устойчивым, хотяярус отвала, при условии расположения на промежуточной площадке автосамосвала CAT-785C, находится в состоянии предельного равновесия, что не оказывает влияния на устойчивость отвала в целом.

3. Отвал 3 разделен на 2 категории по устойчивости:

– основание отвала находится над руслом реки и является в целом устойчивым;

– основание отвала находится на наклонной поверхности и по результатам расчета устойчивости отвал в общем можно считать устойчивым, хотя его ярус, при условии расположения на промежуточной площадке автосамосвала CAT-785C, находится в состоянии предельного равновесия 3, что не оказывает влияния на устойчивость отвала в целом.

4. На основании имеющихся данных и результатов расчетов конструкцию отвалов с бермой безопасности в половину высоты вышележащего яруса можно считать устойчивой (в диапазоне изменения высоты верхнего яруса от 70 до 120 м).

5.Для повышения достоверности определения устойчивости отвалов необходимо дополнительное изучение физико-механических свойств отвальной массы и их изменений во времени, а также организация системы мониторинга устойчивости отвалов.

Литература

1. Технико-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов магнетитовых и апатитовых руд Ковдорского месторождения для открытой разработки: отчет о НИР / рук. А.В. Окунович. – СПб: Гипроруда, 2011.–Т. 1. – 257с.

2. Потапов Д.А. Анализ отечественных и зарубежных методов расчета устойчивости бортов карьеров в массивах скальных горных пород / Д.А. Потапов,А.С.Калюжный // XVI Межрегиональная научно-практическая конференция (16-18 апреля 2013 г.). Тезисы докладов.– Апатиты: Изд. КФ ПетрГУ, 2013. - Ч. 1. – С.47.

3. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров / сост. Г.Л. Фисенко и др.;ВНИМИ. – Л.: 1972. – 165с.

К содержанию

УДК 622.831

Рыбин Вадим Вячеславович
старший научный сотрудник, доцент,
кандидат технических наук,
ГоИ КНЦ РАН,
184209, Мурманская область,
г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24
e-mail: rybin@goi.kolasc.net.ru

Потапов Даниил Андреевич
аспирант,
ГоИ КНЦ РАН,
184209, Мурманская область, г. Апатиты,
ул. Ферсмана, 24;
e-mail: potapovd@goi.kolasc.net.ru

Калюжный Антон Сергеевич
аспирант,
ГоИ КНЦ РАН,
184209, Мурманская область, г. Апатиты,
ул. Ферсмана, 24
e-mail: anton26@goi.kolasc.net.ru

РАЙОНИРОВАНИЕ КАРЬЕРНОГО ПОЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОЛЕНИЙ РУЧЕЙ ПО ГЛУБИНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПРОФЕССОРА Д. ЛОБШИРА

Аннотация:

Проанализированы физико-механические свойства, структурную нарушенность, напряженно-деформированное состояние массива пород месторождения «Олений ручей», расположенного в юго-восточной части Хибинского массива. На основе проведенного анализа геомеханического состояния выполнена оценка рейтинга геомеханической классификации (MRMR) проф. Д. Лобшира, что в свою очередь позволило выполнить районирование карьерного поля месторождения по глубине. На основе проведённых исследований в первом приближении рекомендованы устойчивые углы откоса борта карьера в пределах различных его участков.

Ключевые слова: геомеханическая классификация проф. Д. Лобшира, MRMR, месторождение «Олений ручей», Хибинский массив, борт карьера

Vadim V. Rybin – PhD (Eng.), Senior Researcher
The Mining Institute of Kola Scientific Center,
Russian Academy of Sciences
24 Fersman st., 184209
the Apatites, Murmansk region, Russia
e-mail: rybin@goi.kolasc.net.ru

Daniil A. Potapov – Ph.D. student
The Mining Institute of Kola Scientific Center,
Russian Academy of Sciences
24 Fersman st., 184209
the Apatites, Murmansk region, Russia
e-mail: potapovd@goi.kolasc.net.ru

Anton S. Kaliuzhnyi – Ph.D. student
The Mining Institute of Kola Scientific Center,
Russian Academy of Sciences
24 Fersman st., 184209
the Apatites, Murmansk region, Russia
e-mail: anton26@goi.kolasc.net.ru

ZONING OF THE «OLENIY RUCHEY»OPEN PIT FIELD BY DEPTH USING PROF. D.LAUBSCHER ROCK MASS CLASSIFICATION

Abstract:

The article analyzes physical and mechanical properties, structural failure, stressed-strained rocks state, of the "Oleniy Ruchey" deposit located in the south-eastern part of the Khibinsky massif. Based on the data of geo-mechanical state analysis, D. Laubscher rock mass classification (MRMR) has been carried out thus allowing to perform zoning of the deposit's open pit field's depth. On the basis of these studies in the first approximation the stable slope angles of the open pit walls within its different parts are recommended.

Key words: D. Laubscher Rock Mass Classification (MRMR), the «Oleniy Ruchey» deposit, Khibinsky massif, open-pit wall

Уже на протяжении 7 лет в Хибинах осуществляется крупный инновационный проект по освоению месторождения апатит-нефелиновых руд Олений ручей. Его отработка в настоящий момент проводится открытым способом, одновременно осуществляется строительство подземного рудника [1].

К содержанию

Месторождение Олений ручей расположено в юго-восточной части Хибинского массива и приурочено к участку выклинивания пород ийолит-уртитового комплекса. Протяжённость месторождения составляет порядка 3,2 км, простирается оно в сторону северо-востока с азимутом 35 – 40º. Также отмечается увеличение угла падения всех структурных элементов продуктивной зоны в направлении северо-восточного фланга месторождения от 30 – 40º на юго-западном фланге до 60 – 70º на северо-восточном.

Рудные тела месторождения имеют многоярусное строение, и со стороны лежачего бока залежи контактируют с рисчорритами, в зоне сопряжения с Ньоркпахкским месторождением – с хибинитами. Помимо рисчорритов, со стороны висячего бока залежи залегают фойяиты (на участке выклинивания ийолитов). Помимо перечисленных основных типов вмещающих пород, линзы апатит-нефелиновых руд чередуются с гнейсовидными уртитами, ийолитами, мельтейгитами и другими вмещающими породами (рис. 1) [2].

Самым крупным структурным нарушением массива пород месторождения Олений ручей является Главный разлом. Его положение экстраполировано как продолжение Главного разлома соседнего Ньоркпахкского месторождения. Параметры залегания Главного разлома следующие: северо-восточное простирание, падение на северо-запад с углами ориентировочно от 40 до 45º. Главный разлом является основным фактором, контролирующим изменчивость параметров структурных неоднородностей массива пород в пределах карьерного поля [2].

На стадии детальной разведки и уточнения запасов в середине 80-х годов прошлого столетия проводилось определение физико-механических свойств руд и вмещающих пород путём исследования образцов, изготовленных из керна глубоких (более 1 км) скважин [3]. Показатели некоторых физических свойств пород представлены в табл. 1 [4].

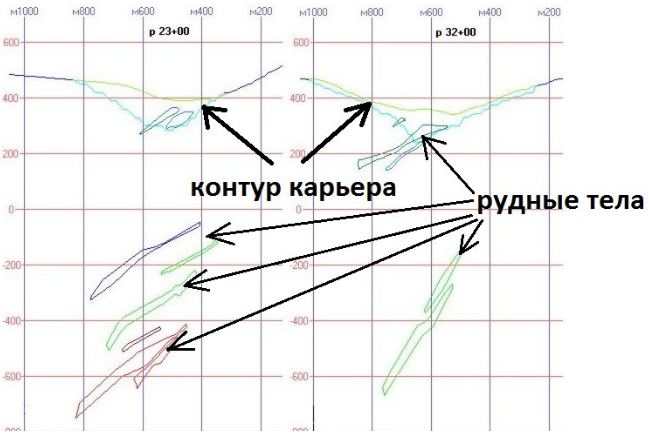


Рис. 1 – Характерный геологический разрез месторождения Олений ручей

Эти данные, в частности высокие значения пределов прочности, свидетельствуют о принадлежности всех основных типов вмещающих пород к категории прочных скальных. Коэффициент хрупкости (соотношение $\sigma_{сж}/\sigma_р$) во всех случаях, за исключением мончекита, больше 10, что свидетельствует о склонности этих пород к хрупкому разрушению. Значение скорости V_p в породах находится в пределах от 2,3 до 5,8 км/с, что также характерно для прочных скальных пород.

В 2010 г. для оценки устойчивости борта планируемого карьера на месторождении Олений ручей были проведены дополнительные исследования физических свойств основных типов горных пород верхней части месторождения (табл. 2) [5]. Эти породы и руды имеют высокие показатели прочности и упругости. Так, прочность при одноосном сжатии в среднем 115 – 180 МПа, при растяжении 10 – 20 МПа, модуль упругости – $(5\div9)\times10^4$ МПа; коэффициент хрупкости находится в пределах 6 – 12. Приведенные

К содержанию

значения свидетельствуют о том, что по классификации по прочности породы и руды месторождения Олений Ручей можно отнести к III категории (крепкие породы).

Анализируя данные, приведенные в табл. 1 и 2, очевидно, что значения прочностных показателей, определенных в 80-е годы прошлого века, значительно выше по сравнению с данными 2010 г. Наиболее вероятной причиной этого является то, что в определениях 2010 г. отбор проб производили в верхней части месторождения, т. е. в выветрелых и трещиноватых скальных породах. Также установлено, что с глубиной нарушенность и трещиноватость массива пород уменьшается, что приводит к более высоким параметрам физико-механических свойств пород в массиве. Помимо вышеприведенного факта, следует учитывать, что произошло изменение ГОСТа на определение прочностных свойств образцов.

По данным определений физических свойств горных пород 2010 г. был проведен анализ изменения предела прочности на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$) в пределах Главного разлома, который является основным крупным структурным элементом в пределах карьерного поля месторождения Олений ручей.

На графиках (рис. 2 и 3) представлена зависимость между средним, по каждой выборке, пределом прочности на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$) по породе и глубиной, где нулевая отметка соответствует устью скважины. Для наглядности точки соединены между собой.

На обоих графиках отчетливо видно, что на глубине ≈ 200 м идет изменение предела прочности на одноосное сжатие. При этом для ювита среднее значение предела прочности на одноосное сжатие на отметке 195 м составляет 120 МПа, а на отметке 203 м – 90 МПа, что на 25 % меньше. Для мальтейгита на глубине 190 м среднее значение $\sigma_{сж}$ составляет 135 МПа, а на глубине 200 м – 80 МПа, что на 40 % меньше. Примерно на этой же глубине относительно исследуемых скважин располагается Главный разлом (пунктирная линия).

Вышеизложенное свидетельствует о том, что горные породы, находящиеся в зоне влияния Главного разлома, могут иметь гораздо меньшие прочностные характеристики, что необходимо учитывать при формировании конечного контура карьера.

Для учета влияния параметров напряженно-деформированного состояния на устойчивость прибортового массива в середине 1980-х годов был выполнен прогноз естественного напряженного состояния массива горных пород месторождения. В результате по уровню действующих напряжений были выделены три характерные зоны [4]:

I – слабонапряженная зона ($\sigma_3 \leq 20$ МПа), от поверхности до глубины 400 м;

II – средненапряженная зона (20 МПа < σ_3 < 40 МПа), от 400 до 1000 м;

III – сильнонапряженная зона ($\sigma_3 \geq 40$ МПа), свыше 1000 м.

По показателям трещиноватости керна и характеру его дискования было также выделено 3 зоны по глубине месторождения [3]: до 400 м; от 400 до 1000 м, более 1000 м.

Верхняя зона глубиной до 400 м характеризуется повышенным значением трещиноватости, что, вероятнее всего, обусловлено наличием зоны выветривания, т. е. зоны ослабленных пород, отмеченной по материалам сейсмических исследований. Значения действующих напряжений в этой зоне существенно ниже, чем на больших глубинах.

Во второй зоне, на глубине от 400 до 1000 м, проявляется дискование керна, которое приурочено в основном к зонам высокопрочных пород (уртиты, ийолиты). Породы в этой зоне менее трещиноватые.

В пределах третьей зоны, на глубинах свыше 1000 м, дискование керна проявляется на значительно больших интервалах, что свидетельствует о более высоком значении действующих напряжений в массиве пород и гораздо меньшей интенсивности трещиноватости.

К содержанию

Таблица 1

Некоторые физические свойства основных типов горных пород месторождения Олений ручей по данным 1985 г.

Наименование пород	Интервал опробования, м	Плотность, г/см^3	Скорость продольных волн, км/с	Коэффициент вариации, %	Скорость поперечных волн, км/с	Коэффициент вариации, %	Прочность при сжатии, МПа	Коэффициент вариации, %	Прочность при растяжении, МПа	Коэффициент вариации, %	Коэффициент крепости по Протодьяконову	Модуль продольной упругости, $E\times10^4$ МПа	Коэффициент хрупкости пород
Нефелиновый сиенит среднезернистый массивный	482-483	2.63	4.37-5.11 4.79	4	2.11-2.53 2.40	7	200-300 250	17	17-24 20	15	14	4.08	12
Уртит полевошпатный, неравномернозернистый массивный	671-672	2.72	3.40-4.93 4.01	9	1.71-2.26 2.05	11	170-220 200	11	10-18 12	28	11	3.1	16
Малиньит массивный	776-777	2.97	2.71-3.26 3.02	7	1.65-1.76 1.70	7	150-200 180	12	10-14 12	15	10	2.18	15
Уртит мелкозернистый массивный	817-818	2.96	2.68-4.08 3.69	6	1.32-2.14 1.80	19	80-180 130	30	6-13 11	17	8	2.63	11
Ийолит-уртит среднезернистый слаботрахитоидный	300-301	2.84	5.53-5.86 5.71	2	2.14-3.12 2.77	15	240-340 300	15	22-32 27	16	14	6.02	11
Ийолит среднезернистый трахитоидный	398-399	3.00	3-73-5.09 4.64	8	2.02-2.25 2.16	4	160-520 270	25	18-25 20	16	13	3.85	14
Мончикит	418-419	3.00	5.44-5.75 5.63	1	2.68-3.08 2.87	6	160-260 220	18	30-37 33	9	15	6.65	6
А-Н руда пятнисто-полосчатая	566-568	3.22	2.17-3.74 2.89	15	0.89-1.92 1.43	26	70-120 90	24	5-8 6	22	6	1.77	15
А-Н руда блоковая	576-578	3.09	2.34-4.49 3.17	13	1.26-1.91 1.49	15	80-100 90	13	4-6 5	16	6	1.84	19
Нефелиновый сиенит	704-706	2.70	4.13-4.71 4.44	4	1.97-2.74 2.29	14	190-260 230	13	14-21 16	16	12	3.85	14
Ийолит мелкозернистый	596-597	2.88	2.69-4.78 3.94	13	1.56-2.05 1.93	8	100-250 230	9	18-24 21	12	13	2.73	11
Уртит неравномернозернистый массивный	1576-1578	2.73	3.66-5.48 4.60	10	1.93-2.25 2.06	7	140-240 190	11	11-24 17	34	12	3.2	11
Уртит неравномернозернистый	958-960	2.63	4.69-5.42 4.90	5	1.87-2.41 2.21	11	180-250 200	14	14-22 18	21	12	3.51	13

Таблица 2

Некоторые физические свойства основных типов пород апатитонефелинового месторождения Олений ручей по данным 2010 г.

Наименование породы	Плотность, ρ, г/см3	Скорость продольных волн, V_p, км/с	Скорость поверхностных волн, V_r, км/с	Коэффициент Пуассона (динамический) ν	Модуль упругости (динамический) $E\times10^{-4}$, МПа	Коэффициент Пуассона (статический) μ	Модуль упругости (статический) $E\times10^{-4}$, МПа	Прочность при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа	Прочность при растяжении $\sigma_р$, МПа	Коэффициент хрупкости $\sigma_{сж}/\sigma_р$
Уртит неоднородно- зернистый	2,65 - 3,11 2,86	4,109 - 6,071 5,111	2,646 - 3,303 2,886	0,10 - 0,30 0,21	5,00 - 9,65 6,72	0,23 - 0,28 0,26	6,62 - 7,93 7,34	84,3 - 213,4 136,3	6,8 - 18,2 12,1	11
Уртит полевошпатовый со сфеном	2,70 - 2,90 2,79	4,930 - 6,024 5,427	2,833 - 3,175 2,996	0,15 - 0,28 0,23	6,42 - 8,51 7,15	0,20 - 0,30 0,24	5,58 - 7,93 6,72	70,3 - 163,5 114,7	7,2 - 13,6 9,8	12
Уртит до ювита	2,60 - 3,04 2,98	4,328 - 6,285 5,312	2,704 - 3,419 2,957	0,10 - 0,30 0,20	5,03 - 8,93 7,34	0,18 - 0,27 0,22	6,15 - 7,38 6,99	70,1 - 190,0 116,3	6,5 - 16,4 11,1	10
Ийолит	2,76 - 3,38 2,96	4,581 - 6,501 5,616	2,723 - 3,598 3,154	0,15 - 0,27 0,22	5,58 - 11,84 8,45	0,20 - 0,26 0,23	6,50 - 11,70 9,49	107,0 - 293,3 183,0	12,6 - 20,8 16,7	11
Мельтейгит	2,98 - 3,37 3,19	4,788 - 6,228 5,585	2,793 - 3,362 3,031	0,12 - 0,30 0,24	7,25 - 10,26 8,46	0,21 - 0,28 0,24	5,75 - 9,63 7,20	87,4 - 226,1 152,1	11,3 - 23,2 16,0	10
Малиньит	2,92 - 3,05 2,99	5,743 - 5,860 5,799	3,068 - 3,068 3,068	0,26 - 0,27 0,27	8,09 - 8,41 8,27	0,22 - 0,33 0,27	6,25 - 8,77 7,92	84,0 - 162,2 124,0	20,3 - 20,3 20,3	6
Ювит	2,58 - 2,92 2,74	4,306 - 5,986 5,308	2,695 - 3,155 2,966	0,10 - 0,27 0,22	4,85 - 8,50 6,85	0,21 - 0,26 0,23	4,74 - 7,75 6,03	73,0 - 192,2 118,3	8,8 - 21,4 14,4	8
Рисчоррит	2,61 - 2,71 2,67	4,248 - 4,451 4,359	2,555 - 2,682 2,632	0,13 - 0,16 0,15	4,68 - 5,08 4,92	0,19 - 0,26 0,23	6,94 - 8,95 7,72	97,2 - 195,0 128,3	9,2 - 12,0 10,5	12
Апатит - нефелиновая руда	2,89 - 3,16 3,00	4,267 - 5,590 5,006	2,632 - 3,049 2,874	0,10 - 0,27 0,19	5,25 - 8,01 6,87	0,22 - 0,29 0,25	6,80 - 7,75 7,17	83,0 - 198,8 126,8	9,0 - 11,8 10,2	12

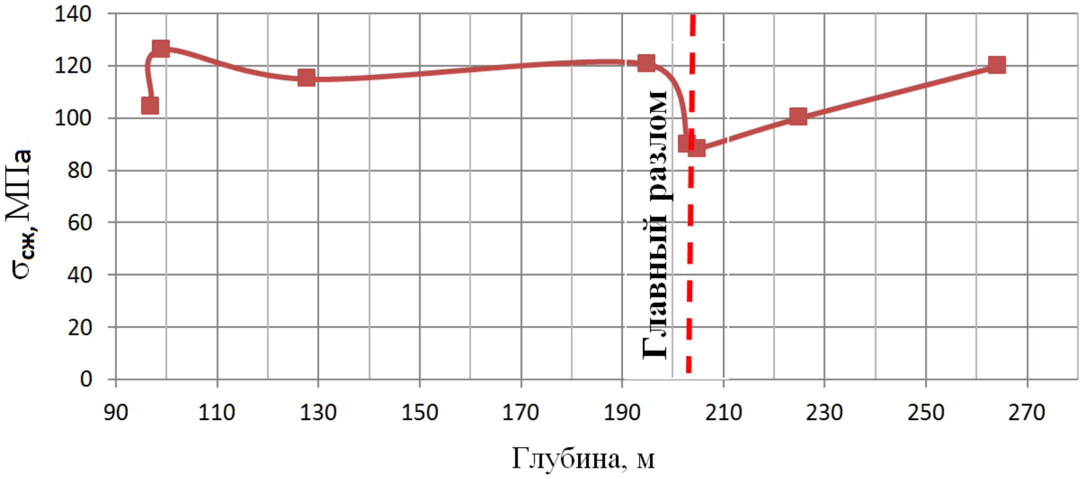


Рис. 2 – График зависимости предела прочности на сжатие от глубины для ювита

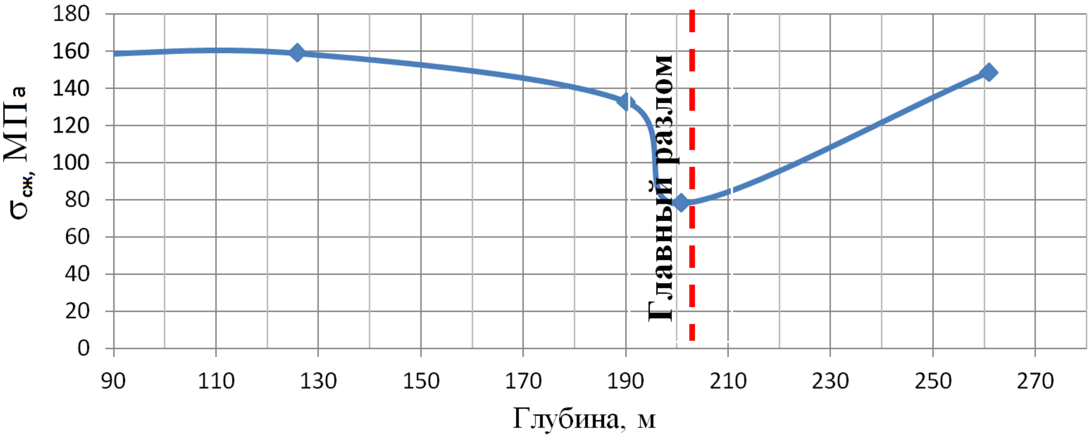


Рис. 3 – График зависимости предела прочности на сжатие от глубины для мальтейгита

На базе имеющихся материалов о геомеханическом состоянии месторождения можно определить геомеханический рейтинг массива пород. Последнее время большое распространение получила разработанная за рубежом геомеханическая рейтинговая классификация MRMR (далее R_L) проф. Д. Лобшира, широко применяемая в западных странах с середины 70-х годов прошлого столетия [6 – 8]. Методика позволяет на предварительном этапе определить основные параметры горных работ по результатам геологоразведочных работ, что является весьма полезным для предварительной оценки параметров устойчивости горных выработок, в том числе предварительной оценки устойчивости бортов карьеров.

Алгоритм определения показателя рейтинга R_L представлен на рис. 4. Из схемы видно, что величина рейтинга R_L определяется суммой частных рейтингов, учитывающих прочностные характеристики массива, количественные и качественные характеристики трещиноватости, которые в дальнейшем умножаются на поправочные коэффициенты выветривания, ориентации трещин, напряженного состояния, гидрогеологии и др.

Величина рейтинга R_L выражается следующей формулой:

$$R_L = (R_{\sigma бл} + R_{кт} + R_{ут}) \times k,$$

где $R_{\sigma бл}$ – прочность породного блока; $R_{кт}$ – рейтинг по количеству трещин; $R_{ут}$ – рейтинг условий трещиноватости; k – коэффициенты, учитывающие выветривание, ориентацию трещин, напряжения в массиве, взрывание, наличие подземных водопритоков.

К содержанию

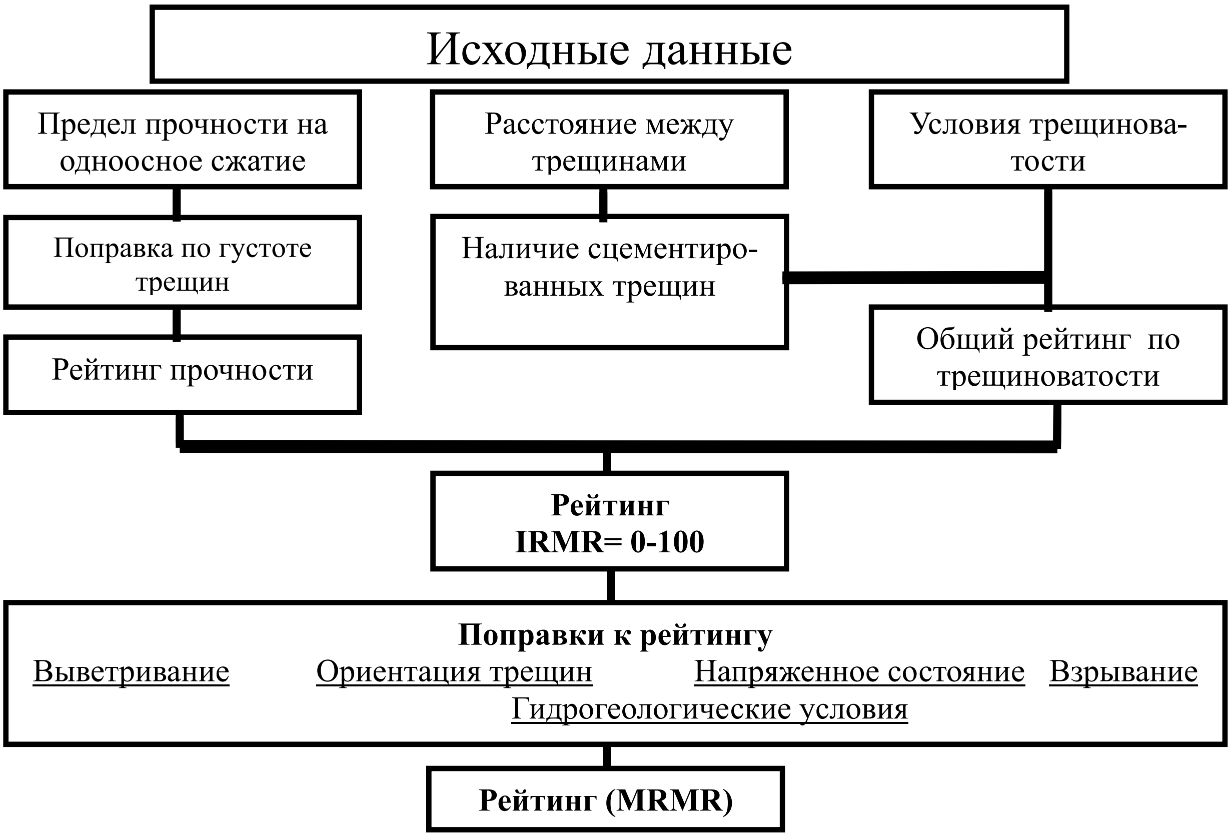

Исходные данные
Предел прочности на одноосное сжатие
Расстояние между трещинами
Условия трещиноватости
Поправка по густоте трещин
Наличие сцементированных трещин
Рейтинг прочности
Общий рейтинг по трещиноватости
Рейтинг
IRMR= 0-100
Поправки к рейтингу
Выветривание
Ориентация трещин
Напряженное состояние
Взрывание
Гидрогеологические условия
Рейтинг (MRMR)

Рис. 4 – Алгоритм определения рейтингового показателя R_L
по классификации профессора Д. Лобшира

Исходными данными по физико-механическим свойствам пород для выполнения расчетов являлись результаты исследований, проведенных Геологическим и Горным институтами КНЦ РАН [5]. Исходя из зональности уровня напряженности массива пород и данных о трещиноватости, свидетельствующих о зависимости их от глубины, расчет рейтинга производился для трех зон месторождения Олений ручей по формуле (1):

1) для верхней части массива (до глубины 100 м)

$$R_L = (R_{\sigma\text{бл}} + R_{\text{кт}} + R_{\text{ут}})\times k \approx 38;$$

2) для глубины 100 – 300 м

$$R_L = (R_{\sigma\text{бл}} + R_{\text{кт}} + R_{\text{ут}})\times k \approx 54 \div 65;$$

3) глубже 300 м

$$R_L = (R_{\sigma\text{бл}} + R_{\text{кт}} + R_{\text{ут}})\times k \approx 60 \div 72.$$

В соответствии с разработанной проф. Д. Лобширом табл. 3, результаты расчета рейтинга R_L показывают, что горные породы месторождения Олений ручей в верхней части до глубины 100 м, кроме покрывных моренных отложений, принадлежат к 4 классу пород и характеризуются низкой устойчивостью. Породы, залегающие на глубине от 100 до 300 м, при действии низких значений тектонических напряжений – к третьему классу и характеризуются средней устойчивостью, но при действии высоких тектонических напряжений будут принадлежать ко второму классу и характеризоваться хорошей устойчивостью. На глубине 300 и более метров горные породы имеют хорошую устойчивость и относятся в большей степени ко второму классу.

К содержанию

Таблица 3

Величины рейтинга R_L в соответствии с классом горных пород по Лобширу

Рейтинг R_L	81÷100	61÷80	41÷60	21÷40	5÷20
Класс пород по Лобширу	1	2	3	4	5

А. Хайнсом и П. Тербрюгге [8] разработаны рекомендации по выбору приблизительных значений углов откосов бортов карьеров на основе рассчитанного рейтинга MRMR. Данные рекомендации представлены в табл. 4.

Таблица 4

Приблизительные значения углов откосов бортов карьеров в соответствии с классом горных пород по А. Хайнсу и П. Тербрюгге

Класс пород	1	2	3	4	5
Угол откоса борта карьера	75°±5°	65°±5°	55°±5°	45°±5°	35°±5°

На основе рассчитанного рейтинга R_L горных пород месторождения Олений ручей для карьера, в первом приближении можно рекомендовать к рассмотрению следующие варианты углов откоса борта:

- для глубины до 100 м – 35°÷50° ,
- для глубины от 100 до 300 м – 50°÷60°,
- глубже 300 м – до 65°.

Графически районирование результатов рейтингов по глубине представлено на одном из разрезов (рис. 5).

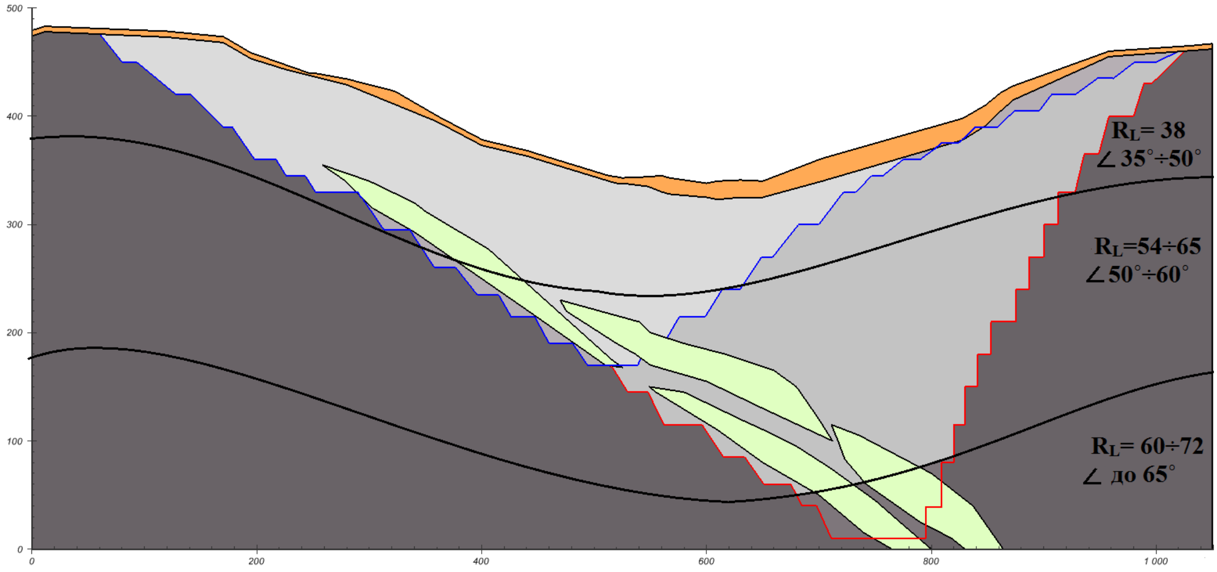


Рис. 5 – Разрез 32+50 м с положением условных границ рейтингов (оранжевый – слой моренных отложений, синий и красный – возможные контуры карьера, светло-зеленый – рудные тела, черный – условная граница разделения показателя рейтинга, темно-серый – вмещающие породы)

К содержанию

Необходимо отметить, что при расчете рейтингов R_L не учитывался вид буровзрывных работ. Применение контурного взрывания будет способствовать соответствию реального состояния приконтурной части массива горных пород приведенным результатам расчета рейтингов.

Таким образом, горные породы верхней части месторождения до глубины 100 м относительно дневной поверхности относятся ко второму классу, и борт карьера может быть сформирован под углом до 50°. На глубинах от 100 до 300 м от дневной поверхности горные породы принадлежат ко 2 – 3 классу и формирование борта возможно под углом до 60°. В случае, если глубина карьера составит более 300 м (2 класс), формирование борта возможно под углом до 65°.

Значения углов откоса борта карьера могут быть рекомендованы в первом приближении лишь для висячего борта карьера, т. к. со стороны лежачего борта имеется крупное структурное нарушение (Главный разлом) с углами падения ориентировочно 40 – 45° в сторону северо-запада.

Литература

1. Федоров С.Г. Создание рудно-сырьевой базы – важный шаг на пути вертикальной интеграции Группы «Акрон» / С.Г. Федоров // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 4. – С. 45 - 50.

2. Технологические и геомеханические проработки по границам карьера месторождения Олений ручей: отчет о НИР (заключительный) по х/д № 2256 от 30.03.2007 г. между Горным ин-том КНЦ РАН и ЗАО «СЗФК», фонды Горного института КНЦ РАН, Инв. № 1046 / отв. исп. Козырев А.А.; исп. Решетняк С.П., Билин А.Л., Рыбин В.В., Любин А.Н., Чуркин О.Е., Наговицын О.В., Смагин А.В., Родина А.В., Каспарьян Э.В., Жиров Д.В. (отв. исп. раздела). – Апатиты: 2007. - 127 с. с прил.

3. Отчет о результатах детальной разведки месторождения апатито-нефелиновых руд Олений ручей за 1980-85 гг. с подсчетом запасов по состоянию на 1 октября 1985 года и поисково-оценочных работ на юго-западном фланге за 1982-1984 гг. РСФСР, Мурманская область. Т. 1. Кн. 1: Текст отчёта / отв. исп. Фаныгин А.С. и др. – Апатиты: Севзапгеология, 1985. – 354 с.

4. Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах / Козырев А.А. и др. – Апатиты, КНЦ РАН, 1996. – Ч. I . - 159 с. - Ч. II. - 162 с.

5. Исследование физико-механических свойств прибортового массива карьера и прогноз напряженного состояния глубинных горизонтов по материалам геологоразведочного бурения для обеспечения геодинамической безопасности месторождения Олений ручей: отчет о НИР (2 этап) по х/д № 2652 между Горным институтом КНЦ РАН и ЗАО «СЗФК» / рук. Козырев А.А.; исполн. Панин В.И., Рыбин В.В., Губинский Н.О., Потокин М.И., Данников И.В., Жиров Д.В., Климов С.А., Тележкина Н.С., Трошкова А.В. – Апатиты, 2010. - 64 с.

6. Laubscher D.H. A geomechanics classification system for rating of rock mass in mine design / D. H. Laubscher // Journal South African Inst. of Mining and Metallurgy. - 1990. - No. 10. - P. 257 - 273.

7. Jacubec J., Laubscher D.H. The MRMR rock mass rating classification system in mining practice. Brisbane. - 2000. – P. 413 - 421

8. Laubscher D.H., Jacubec J. The MRMR Rock Mass Classification for jointed rock masses. Foundations for Design. Brisbane. - 2000. – P. 475-481

9. Haines A. & Terbrugge P.J. Preliminary estimation of rock slope stability using rock mass classification systems. Proc. 7th Cong. on Rock Mechanics. - ISRM. Aachen, Germany. 2, ed. Wittke W. publ. Balkema, Rotterdam. - 1991. - P. 887 - 892

К содержанию

УДК 622.833

Сентябов Сергей Васильевич
младший научный сотрудник лаборатории
геодинамики и горного давления.
Институт горного дела УрО РАН,
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: sentyabov1989@mail.ru

О ВЛИЯНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВМАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД НА СОСТОЯНИЕ КРЕПИ СТВОЛОВ

Аннотация:

Представлены результаты исследований и расчетов, выполненных Институтом горного дела Уральского отделения РАН на подземном руднике Гайского ГОКа. Выявленные расширения и сжатия Земли, происходящие синхронно с легко отслеживаемым изменением размера Солнца, требуют дальнейшего обследования и уточнения корреляционных зависимостей. Приведены расчеты и замеры напряжений в крепи стволов, которые зависят не только от физико-механических свойств пород массива, но и от времени проходки ствола и остановок при возведении крепи на время, за которое бетон набрал свою полную прочность. Возникает опасность нарушения целостности крепи стволов.

Ключевые слова: условно постоянные тектонические напряжения; напряженно-деформированное состояние крепи стволов; астрофизические напряжения; бетонная крепь; массив горных пород.

Sentyabov S.V.
The Institute of Mining UB RAS
620219, Yekaterinburg,
58, Mamin-Sibiryak st.
e-mail: sentyabov1989@mail.ru

ON THE EFFECT OF CHANGING HORIZONTAL STRESSES IN THE ROCK MASS ON THE STATE OF SHAFTS' SUPPORT

Abstract:

The results of the researches and calculations carried out by the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in the Gaisky IW underground mine are presented. The observed phenomena of expansion and contraction of the Earth that are happening in sync with easily tracked changes of the Sun's size require further methodological examination and correlation dependences refinement. The calculations of stresses in the shafts' support that depend not only on the physical and mechanical properties of rock mass, but also on the time of shaft sinking and stops in the support construction for the time the concrete has gained its full strength are given. There is a risk compromising the integrity of the fixing trunks.

Key words: conditionally permanent tectonic stresses, stressed-strained state of the shafts' support, astrophysical stresses, concrete support, rock mass.

Напряженное состояние и геодинамическая активность верхней части Земной коры как среды обитания и техногенной деятельности человека были всегда в центре внимания. Периодически изменяющаяся интенсивность геодинамических явлений (землетрясения и горные удары) красноречиво свидетельствует об изменяющемся во времени уровне напряжений в недрах [3].

Со второй половины 1998 г. по настоящее время при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований лаборатория геодинамики и горного давления Института горного дела УрО РАН ведет экспериментальные работы по изучению изменения во времени напряженно-деформированного состояния (НДС) – геодинамической активности массива горных пород. Для этого были оборудованы наблюдательные станции на различных рудниках Урала вне зоны влияния горных работ в районе городов Краснотурьинск, Нижний Тагил, Березовский и Гай на глубинах от 420 до 1070 м.

В ходе анализа результатов работы было установлено явление периодического изменения НДС массива горных пород вследствие расширения и сжатия земной коры (Земли) с временным интервалом в среднем 11 лет [1]. Из периодической литературы известно, что исследование природы геодинамической активности удобнее всего вести во

К содержанию

временном ряду циклов солнечной активности (СА) [2], а напряжения, которые влияют на изменение размеров Земли, принято называть астрофизическими $\sigma_{\text{аф}}$ [5].

Изменение НДС массива горных пород происходит вследствие добавления к действующим условно постоянным гравитационно-тектоническим напряжениям переменной величины $\sigma_{\text{аф}}$, значение которой может достигать десятков мегапаскалей (МПа).

В 2013 г. лабораторий геодинамики и горного давления ИГД УрО РАН была выдвинута новая гипотеза, в соответствии с которой напряженное состояние массива горных пород изменяется во времени, а не является постоянным, полученным в момент измерения [4] (табл.1).

Таблица 1

Гипотезы формирования природных напряжений в массиве горных пород

Автор гипотезы	Гипотеза
А. Гейм, 1878 г.	$\sigma_{\text{x}}^{\text{п}} = \sigma_{\text{y}}^{\text{п}} = \sigma_{\text{z}}^{\text{п}} = -\gamma\text{Н}$
А.Н. Динник, 1951 г.	$\sigma_{\text{z}}^{\text{п}} = -\gamma\text{Н}$ $\sigma_{\text{x}}^{\text{п}} = \sigma_{\text{y}}^{\text{п}} = -\lambda\gamma H$
N. Hast, 1960 г.	$\sigma_{\text{z}}^{\text{п}} = -\gamma H$ $\sigma_{\text{x}}^{\text{п}} = -\lambda\gamma H + T_1$ $\sigma_{\text{y}}^{\text{п}} = -\lambda\gamma H + T_2$
А.В. Зубков и К$^{\text{о}}$, 2000 г.	$\sigma_{\text{z}}^{\text{п}} = -\gamma\text{Н} + \sigma_{zm} + \sigma_{\text{аф}}$ $\sigma_{\text{x}}^{\text{п}} = -\lambda\gamma\text{Н} + \sigma_{xm} + \sigma_{\text{аф}}$ $\sigma_{\text{y}}^{\text{п}} = -\lambda\gamma\text{Н} + \sigma_{ym} + \sigma_{\text{аф}}$, где $\sigma_{xm} + \sigma_{\text{аф}} = T_1$ $\sigma_{ym} + \sigma_{\text{аф}} = T_2$ $\sigma_{\text{аф}} = \sum_{i=\text{К}21}^{\text{К}12} \sigma_{i(t)}$

Примечание:

$\sigma_x^{\text{п}}\sigma_y^{\text{п}}, \sigma_z^{\text{п}}$– составляющие главных напряжений, МПа;

γ– удельный вес пород, Н/м^3;

H – мощность налегающих горных пород, м; λ – коэффициент бокового распора (определяемый коэф. Пуассона);

T_1, T_2 – главные статические составляющие тектонических сил, МПа;

$\sigma_{zm}, \sigma_{xm}, \sigma_{ym}$– главные статические составляющие постоянных тектонических сил, МПа;

$\sigma_{\text{аф}}, \varepsilon_{\text{аф}}$ – временной ход астрофизических напряжений (МПа) и относительных деформаций;

$\sigma_{\text{аф}(t)}$ – временной показатель пульсации астрофизических напряжений;

$\sum_{21}^{12} \sigma_{i(t)}$– суммарный вклад величин изменения НДС различных геологических циклов.

На Гайском подземном руднике (г. Гай) астрофизические напряжения стали измерять сразу же после измерения гравитационно-тектонических напряжений. Поэтому прогноз изменения напряжений во времени здесь можно делать уверенно. При расчете использованы инструментально определенные параметры напряжений, представленные в табл. 2.

К содержанию

Таблица 2

Первоначальные напряжения, действующие в массиве пород месторождения

Год проведения измерений	Глубина H, м	Субмеридиональное,□ σ_1, МПа	Субширотное, σ_2, МПа	Вертикальное σ_z, МПа	Тектонически пульсирующие, $\sigma_{аф}$, МПа
1998	830	–19	–40	–22	–7
2004	910	–20	–42	–25	–4
2008	1070	–32	–49	–33	–9

Для того чтобы рассчитать напряжения в крепи в интересующий нас момент времени, нужно знать величину первоначальных напряжений σ_i^n. Для этого нужно из результатов измерений (табл. 3) вычесть $\sigma_{аф}$того момента, когда были сделаны замеры и прибавить $\sigma_{аф}$ в интересующий момент (рис. 1).

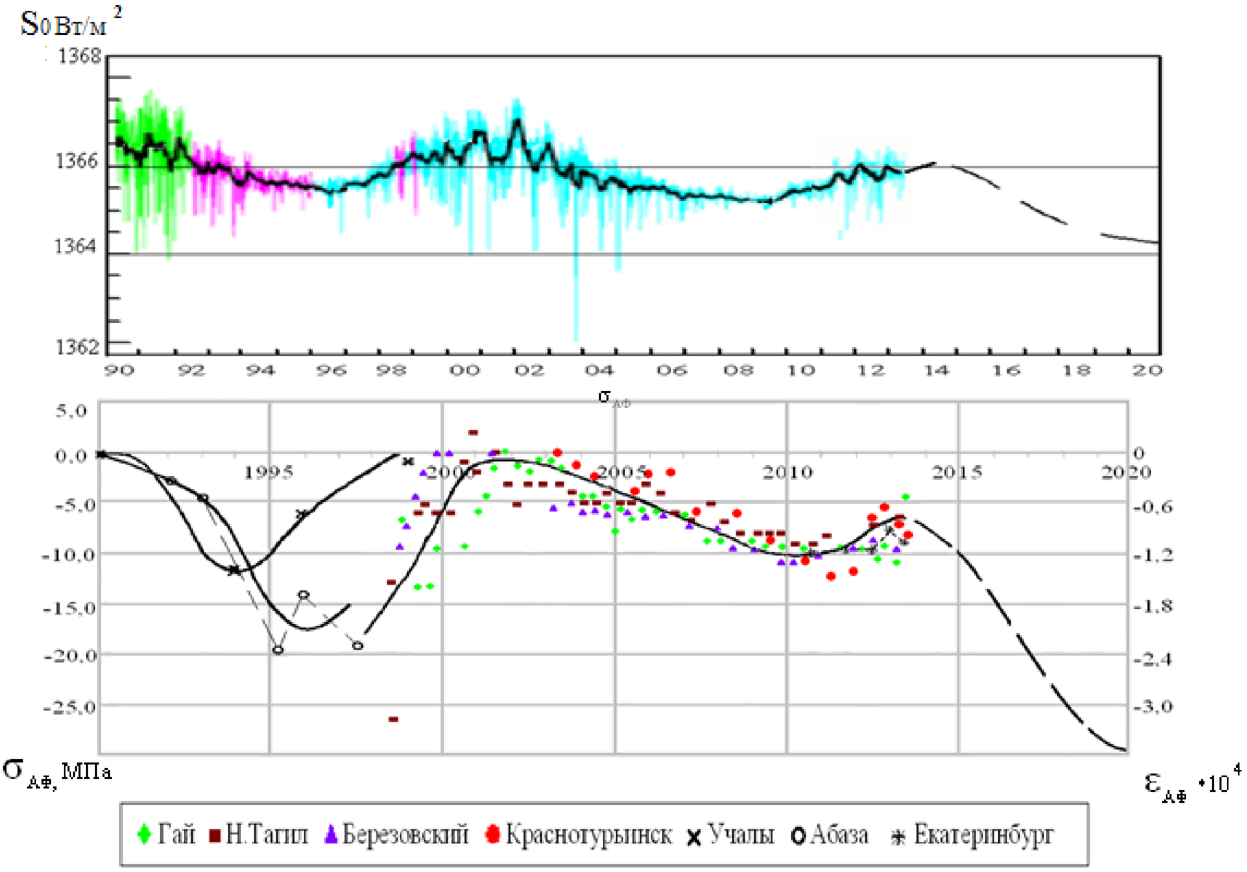


Рис. 1 – Изменение НДС массива на рудниках в городах Урала и Алтая
на фоне изменения излучения Солнца

К содержанию

Величины первоначальных гравитационно-тектонических напряжений без учета астрофизических напряжений представлены в табл. 3.

Таблица 3

Первоначальные гравитационно-тектонические напряжения без учета астрофизических напряжений

Год проведения измерений	Глубина, H, м	Субмеридиональное, σ_1, МПа	Субширотное, σ_2, МПа	Вертикальное, σ_z, МПа
1998	830	$-12 + \sigma_{аф}$	$-33 + \sigma_{аф}$	–22
2004	910	$-16 + \sigma_{аф}$	$-38 + \sigma_{аф}$	–25
2008	1070	$-23 + \sigma_{аф}$	$-40 + \sigma_{аф}$	–33

Следовательно, если крепление ствола проводилось в период минимума СА, то уменьшение$\sigma_{аф}$ в последующем приведет к появлению в крепи растягивающих напряжений, которые частично будут компенсированы сжатием крепи в период ее возведения. Если крепление ствола проводилось в период максимума СА, то увеличение$\sigma_{аф}$ в последующем приведет к увеличению сжатия крепи в дополнение к сжатию в период ее возведения. В практике подобные комбинации могут быть самыми разнообразными, если учесть, что крепь возводится в промежутках между максимумом и минимумом $\sigma_{аф}$.

С целью оценки устойчивости крепи стволов на руднике были сделаны предварительные расчеты напряжений, действующих в крепи на горизонтах –830, –910 и –1070 м, для условий, когда действуют гравитационные γH и тектонические $\sigma_т$ напряжения и бетонная крепь, возведенная у забоя, набрала полную прочность и упругость из-за остановки проходки. Схема расчета (рис. 2) и методика представлены ниже:

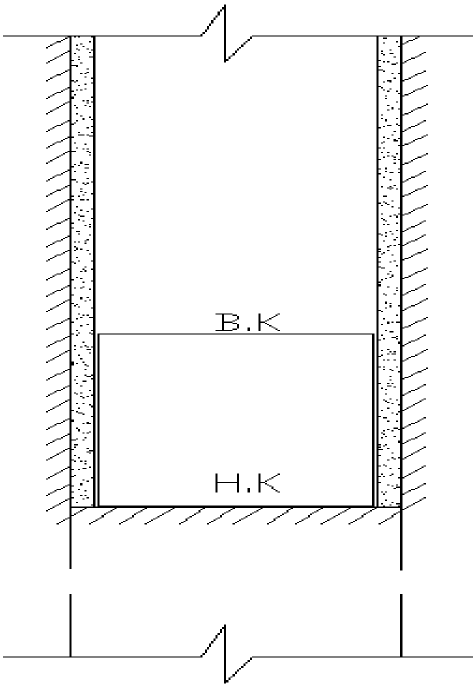


Рис. 2 –Схема к расчету напряжений в крепи

$$\sigma_{\theta(\mathrm{x})} = \frac{(1-\mu_{\text{Б}}^{2})\mathrm{E}_{\text{Б}}}{\mathrm{E}_{\text{п}}}\left[\sigma_{\mathrm{x}}^{\text{п}}\left(\text{К}_{\mathrm{x(x)}}^{\circ} - \text{К}_{\mathrm{x(x)}}^{1}\right) + \sigma_{\mathrm{y}}^{\text{п}}\left(\text{К}_{\mathrm{x(y)}}^{\circ} - \text{К}_{\mathrm{x(y)}}^{1}\right) + \sigma_{z}\left(\text{К}_{x(z)}^{\circ} - \text{К}_{\mathrm{x}(z)}^{1}\right)\right],$$

$$\sigma_{\theta(\mathrm{y})} = \frac{(1-\mu_{\text{Б}}^{2})\mathrm{E}_{\text{Б}}}{\mathrm{E}_{\text{п}}}\left[\sigma_{\mathrm{y}}^{\text{п}}\left(\text{К}_{\mathrm{y(x)}}^{\circ} - \text{К}_{\mathrm{y(x)}}^{1}\right) + \sigma_{\mathrm{y}}^{\text{п}}\left(\text{К}_{\mathrm{y(y)}}^{\circ} - \text{К}_{\mathrm{y(y)}}^{1}\right) + \sigma_{z}\left(\text{К}_{y(z)}^{\circ} - \text{К}_{\mathrm{y}(z)}^{1}\right)\right],$$

где $\sigma_{\theta(\mathrm{x})}, \sigma_{\theta(\mathrm{y})}$ – главные горизонтальные напряжения, МПа;

$\mathrm{E}_{\text{Б}}$ – модуль упругости бетона;

$\mathrm{E}_{\text{п}}$ – модуль упругости породы;

$\text{К}_{x(x)}$, $\text{К}_{y(x)}$... – условные коэффициенты концентрации напряжений $\sigma_{(\mathrm{x})}$, $\sigma_{(\mathrm{y})}$, $\sigma_{(\mathrm{z})}$ по осям Х и У.

Таблица 4

Расчетные напряжения в бетонной крепи

Горизонт	Верх кольца		Низ кольца	
	σ_2, МПа	σ_1, МПа	σ_2, МПа	σ_1, МПа
–830 м	–8,5	–0,77	–15,3	–0,6
–910 м	–8,7	–0,9	–15,8	–0,8
–1070 м	–8,8	–1,2	–16,6	–1,8

На основании полученных результатов (табл. 4) установлено, что на участках, где проходку приостанавливали на время, когда бетон набирал свою полную прочность, в крепи ствола возникали максимальные напряжения. Величины рассчитанных напряжений на горизонте –830 м и ниже имеют незначительный запас прочности и практически близки к нормативной прочности бетона, равной для Б25 М300 18 МПа. На этих участках есть опасность нарушения крепи стволов.

В процессе исследований на месторождении натурные определения напряжений, действующих в крепи стволов, проводились при помощи модифицированного метода щелевой разгрузки. Измерения были проведены на глубине 830, 910, 990, 1070 и 1390 м Гайского подземного рудника. Деформации измерялись индикатором часового типа между реперами до разгрузки и после нее. Для разгрузки массива используется щель, выполненная при помощи колонкового перфоратора [6]. При этом она имеет строго определенные параметры и форму полудиска с радиусом $R_{\text{щ}}$=0,3 м. Из-за большого объема и сложности бурения (общая длина шпуров около 3 м) метод довольно трудоемок. При выполнении НИР метод был значительно модернизирован за счет использования в качестве режущего инструмента бензорезов последнего поколения. При этом данное оборудование полностью автономно и не требует подключения к магистралям сжатого воздуха, привязки к электрическим сетям и водопроводу, что существенно увеличивает круг его использования.

Вместе с этим реперы также претерпели изменения. Вместо съемных цанговых реперов использовались постоянные оловянные, установленные по обе стороны от щели на осевой линии. Это позволило снизить себестоимость их производства, а также появилась прекрасная возможность производить изменения напряженного состояния во времени.

По результатам измерений с помощью нового метода были получены деформации и пересчитаны в напряжения, действующие на контуре выработки (табл. 5).

К содержанию

Таблица 5

Результаты расчета напряжений на контуре выработки методом щелевой разгрузки на шести станциях

1-я станция (горизонт –830 м)	2-я станция (горизонт –910 м)	3-я станция (горизонт –990 м)	4-я станция (горизонт –1070 м)	5-я станция (горизонт –1390 м)	6-я станция (горизонт –1390 м)
–4,6МПа	–4,6МПа	–1,1МПа	–2,3МПа	–1,1МПа	–2,3МПа

Полученные величины напряжений в крепи (при непрерывной проходке) отличаются от теоретических за счет того, что бетон не набрал полную прочность и деформировался пластично.

Литература

1. Зубков А.В. Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния земной коры Урала во времени / А.В. Зубков и др. // Литосфера. – 2010. – №1. – С. 84 - 93.
2. Яковлев Д.В. О взаимосвязи геодинамических событий в шахтах и рудниках с циклами солнечной активности / Д.В. Яковлев, Б.Г. Тарасов // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. междунар. конф. - Новосибирск: ИГД СО РАН, 2001. – С. 56 - 65.
3. Милановский Е.Е. Развитие и современное состояние проблем расширения и пульсации земли / Е.Е. Милановский // Проблемы расширения и пульсации Земли. – М.: Наука, 1984.– С. 8 - 24.
4. Зубков А.В. Периодическое расширение и сжатие Земли как вероятный механизм природных катаклизмов / А.В. Зубков // Литосфера. – 2013. – № 2. – С. 145 - 155.
5. Зубков А.В. Горнотехнические условия отработки колчеданных месторождений / А.В. Зубков // Уральский горнопромышленный форум V. Колчеданные месторождения – геология, поиски, добыча и переработка руд: материалы: Всерос. науч. конф. Чтения памяти С.Н. Иванова / УрО РАН, Институт геологии и геохимии УрО РАН и др. - Екатеринбург, 2013. – С. 60 - 62.
6. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология / А.В. Зубков. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001. – 333 с.

К содержанию

УДК 550.834+620.179

Федин Константин Владимирович
младший научный сотрудник,
Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3
Тел. +7-913-799-09-09
e-mail: fedin.konstantin@gmail.com,
FedinKV@ipgg.sbras.ru

Fedin Konstantin Vladimirovich
The Institute of Petroleum Geology and Geophysics. AA Trofimuk SB RAS, Junior Researcher
630090, Novosibirsk,
Academician Koptyug avenue, 3, Russia.
Tel. +7-913-799-09-09
e-mail:fedin.konstantin@gmail.com,
FedinKV@ipgg.sbras.ru

РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА (ВЧР) ПО ДАННЫМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

RESONANCE PROPERTIES OF THE UPPER PART OF THE SECTION ACCORDING TO DATA OF PHYSICAL MODELING

Аннотация:

На данных трехмерного физического моделирования исследуются возможности определения резонансных свойств верхней части разреза (ВЧР) по записям микросейсм. Для получения и обработки экспериментальных данных применялась лабораторная модификация развиваемой в последние годы методики выделения стоячих волн из микросейсмического поля, регистрируемого на плотной системе наблюдений с использованием малоканальной аппаратуры. Экспериментально исследовались несколько типов ВЧР с пониженной скоростью (слой постоянной мощности, слой над границей блоков, выклинивающийся слой, сферическая линза). Показано, что рассматриваемая методика позволяет по зарегистрированным на поверхности ВЧР микросейсмам исследовать распределение частот и амплитуд отдельных мод стоячих волн на участке, где проводятся измерения.

Ключевые слова: стоячие волны, физическое моделирование, верхняя часть разреза

Abstract:

On the data of three-dimensional physical modeling the possibilities of determining the resonance properties of the upper part of the section (UPS) according to the records of microseisms are investigated. For obtaining and processing the experimental data the laboratory modification of the procedure of selection standing waves from microseismic field recorded on a dense system of observations using thin-route equipment was applied, the procedure being developed in recent years. Experimentally several types of the section's upper part were studied at a reduced speed (constant power layer, the layer above the boundary blocks, thinning layer spherical lens). It is shown that the technique under view allows to study the distribution of frequencies and amplitudes of the individual modes of standing waves in the area where the measurements are being performed according to the microseisms registered on the surface of the upper part of the section.

Key words: standing waves, physical modeling, the upper part of the section

Один из способов повышения точности сейсмического микрорайонирования с использованием записей микросейсм реализован в методике, описанной в работах [1, 2]. В отличие от большинства других методов, базирующихся на предположении о том, что в микросейсмах преобладают колебания, связанные с поверхностными волнами, данная методика основана на выделении из микросейсмического поля его когерентных составляющих – формирующихся в ВЧР стоячих волн. Авторы [1, 2] показали, что детальный анализ стоячих волн, выделенных из микросейсмического поля, позволяет определять резонансные характеристики разреза с контролируемой точностью.

Однако очевидно, что без опробования на объектах с известными строением и свойствами ВЧР, подтверждающего достоверность получаемых результатов, правомерность применения такой методики не может считаться в достаточной мере обоснованной. В данной работе представлены результаты тестирования методики [1, 2] на данных физического моделирования для нескольких моделей с контролируемыми строением и свойствами ВЧР.

К содержанию

Методика проведения экспериментов, как и процедура обработки экспериментальных данных, отличалась от методики, применявшейся для сейсмического микрорайонирования реальной территории [1, 2], только тем, что измерения проводились в ультразвуковом диапазоне частот на масштабных моделях ВЧР. Схема экспериментов приведена на рис. 1.

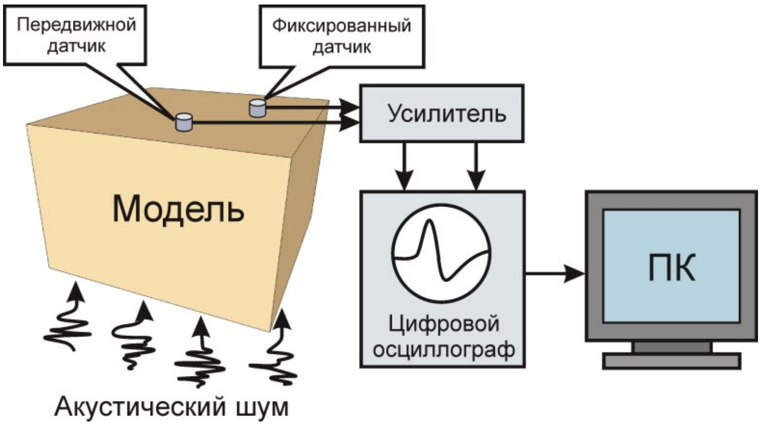


Рис. 1 – Схема экспериментов

Регистрация шумовых сигналов производилась на верхних поверхностях моделей двумя широкополосными датчиками поршневого типа, изготовленными на основе дисков из пьезокерамики ЦТС-19 диаметром 2 мм и толщиной 1 мм. Оси максимальной чувствительности датчиков были ориентированы перпендикулярно поверхностям, на которых проводились измерения, поэтому регистрировались преимущественно вертикальные колебания.

Как и в методике сейсмического микрорайонирования [1, 2], один датчик использовался как опорный – в экспериментах с каждой моделью он крепился неподвижно в одной из точек на ее верхней поверхности и его положение в течение всего эксперимента не менялось. Второй датчик в ходе экспериментов последовательно устанавливался также на верхней поверхности модели в узлах квадратной сетки размерностью 23×23. Шаг сетки составлял 1 см. После установки передвижного датчика в каждой точке системы наблюдений производилась синхронная запись шумовых сигналов от обоих датчиков – после предварительного усиления они регистрировались двухканальным цифровым осциллографом В-423 и записывались на жесткий диск персонального компьютера (ПК) для последующей обработки. Длительность регистрации при каждом положении передвижного датчика составляла примерно 2 с при частоте дискретизации 1 МГц.

Применение одного или нескольких датчиков в качестве опорных позволяет использовать разновременные данные, полученные с помощью малоканальной (в нашем случае двухканальной) аппаратуры для имитации одновременных наблюдений в большом числе точек. Алгоритм пересчета данных к «единому» времени, программная реализация которого использовалась при обработке данных физического моделирования, описан в [1, 2]. Этот алгоритм позволяет по шумовым данным, полученным при разновременных наблюдениях в разных точках исследуемого объекта, и дополнительным данным, синхронно записанным в одной или нескольких неподвижных опорных точках, эффективно выделять когерентные колебания, связанные со стоячими волнами, на фоне некогерентного шума.

Эксперименты проводились на объемных физических моделях, изготовленных из трех видов бетона, для приготовления которых использовался речной песок с размерами частиц до 2 мм и цемент марки М400 в разных весовых соотношениях. Состав использованных при изготовлении моделей цементных смесей и измеренные в модельных материалах скорости продольных волн V_p и плотности ρ приведены в таблице.

К содержанию

Значение продольных скоростей бетона различных составов

№ бетона	Песок/цемент	V_p , м/с	ρ, г/см^3
1	4:1	1350	1.48
2	2:1	2760	1.94
3	1:1	4450	2.27

Модели имели форму, как правило, близкую к прямоугольным параллелепипедам. Схематическое изображение исследованных моделей показано на рис. 2.

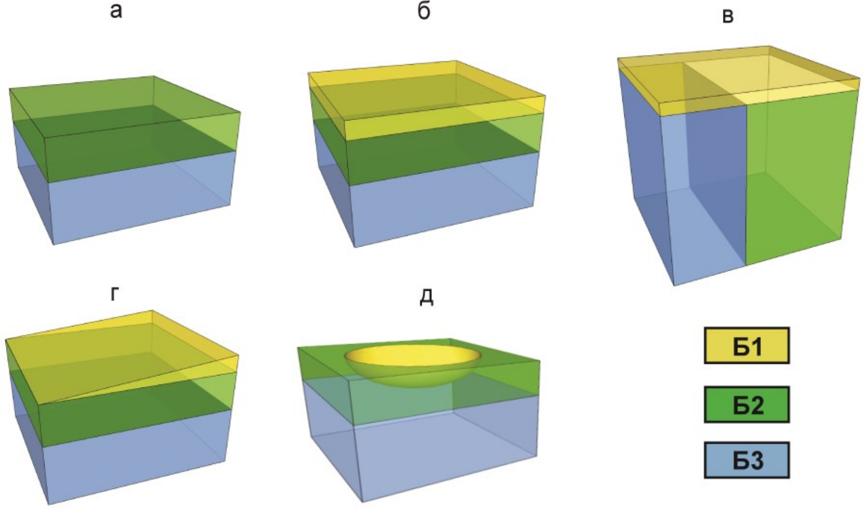


Рис. 2 – Геометрия моделей: *а* – двухслойная и *б* – трехслойная среды; *в* – слой над вертикальной границей блоков; *г* – выклинивающийся приповерхностный слой; *д* – линза над слоями. 1 – 3 – номера бетонов (см. таблицу)

Накопление по времени амплитудных спектров исходных двухсекундных шумовых записей, разбитых на участки по 4096 отсчетов, и их осреднение по всем точкам наблюдения для каждой из этих моделей показало, что на суммарных спектрах появляются резонансные пики именно на частотах, кратных 18,4 и 27 кГц. В то же время на спектре для трехслойной модели заметных пиков, связанных с резонансами в среднем слое, не наблюдается, хотя эта модель была изготовлена из двухслойной модели путем добавления к ней сверху еще одного слоя. Также ни для одной, ни для другой модели в спектрах нет явных пиков, связанных с резонансами в нижнем слое (при его толщине 8 см и скорости V_p = 4450 м/с частоты этих пиков должны быть кратны 27,8 кГц). Это свидетельствует о том, что из всевозможных резонансов, возникающих в геологической среде, наиболее сильно на дневной поверхности должны проявляться резонансные явления в ВЧР.

При сейсмическом микрорайонировании, в том числе и с использованием микросейсм, обычно определяется усиление колебаний в разных местах исследуемого участка относительно колебаний на поверхности некоторого эталонного грунта. Так как поле микросейсм в общем случае имеет нестационарный характер, методы сейсмического микрорайонирования, основанные на его разновременных измерениях малоканальной аппаратурой, могут приводить к большим погрешностям. Методика [1, 2], в которой, как отмечалось выше, реализован пересчет разновременных данных к «единому» времени с использованием синхронных записей в опорных точках, позволяет существенно повысить точность микрорайонирования по микросейсмам без проведения дорогостоящих многоканальных синхронных измерений.

К содержанию

Это и показали результаты, полученные на первых двух моделях (рис. 2, *а*, *б*) для распределения амплитуд низшей моды стоячих волн по площади наблюдений для двухслойной и трехслойной модели сред до и после пересчета к «единому» времени. Точность определения амплитуд после пересчета возрастает в 5 – 10 раз. Результаты для двухслойной среды приведены на рис. 3.

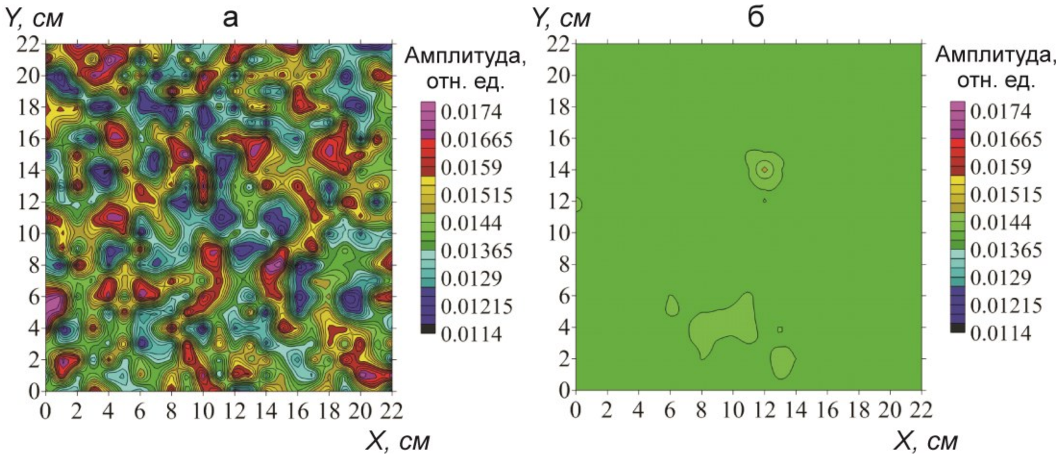


Рис. 3 – Распределение амплитуд низшей моды стоячих волн на верхней грани модели двухслойной среды до (*а*) и после (*б*) пересчета разновременных данных к «единому» времени

Результаты, полученные для трехслойной среды, получились аналогичными, поэтому их здесь не приводим.

Результаты, полученные для еще одной модели слоя постоянной мощности (рис.2, *в*), залегающего над вертикальной границей двух блоков из разных материалов, показывают влияние подстилающей среды на резонансные свойства приповерхностного слоя. Частота низшей моды стоячих волн на всей площади наблюдений в этом случае была порядка 10,4 кГц (рис. 4).

В то же время амплитуда низшей моды над блоком из бетона-2 на 30 – 40% выше, чем над более жестким блоком из бетона-3, примерно такая же закономерность наблюдается и для мод более высоких порядков.

Рис. 4 также иллюстрирует, как свойства подстилающей среды влияют на амплитуды резонансов в приповерхностном слое. Как видно из рисунка, амплитуда низшей моды над блоком из бетона Б2 примерно на 10 % ниже, чем над более жестким блоком из бетона Б3. Похожая закономерность наблюдается и для мод более высоких порядков. Эти результаты хорошо согласуются с данными компьютерного моделирования, проведенного для данной модели (рис. 5), что говорит о высокой эффективности исследуемого метода определения резонансных свойств верхней части разреза по шумовому полю.

Более сложный тип ВЧР с изменяющейся по латерали мощностью в наших экспериментах моделировался равномерно выклинивающимся слоем, лежащим над двумя более высокоскоростными горизонтальными слоями постоянной мощности (рис. 2, *г*). В отличие от однородных слоев, резонансные свойства выклинивающихся слоев должны меняться от точки к точке с изменением их мощности (в направлении выклинивания) и быть неизменными для каждой поперечной выклиниванию линии (рис. 6).

Это подтверждают экспериментальные данные, полученные нами для выклинивающегося слоя. Распределение частот низшей моды стоячих волн на верхней грани модели показало, что в направлении выклинивания слоя возрастание частоты имеет гиперболический характер, в то время как перпендикулярно этому направлению изменений частоты практически не наблюдается.

К содержанию

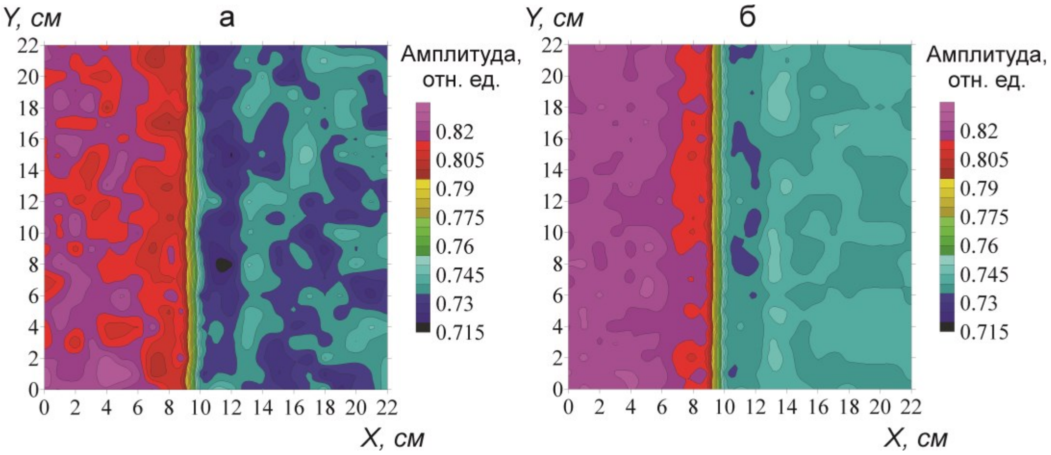


Рис. 4 – Распределение амплитуд низшей моды стоячих волн на верхней грани модели слоя над вертикальной границей блоков до (*а*) и после (*б*) пересчета разновременных данных к «единому» времени. Вертикальная граница в подстилающей среде соответствует X=9,5см, зона повышенных амплитуд слева от границы находится над более жестким бетоном Б3

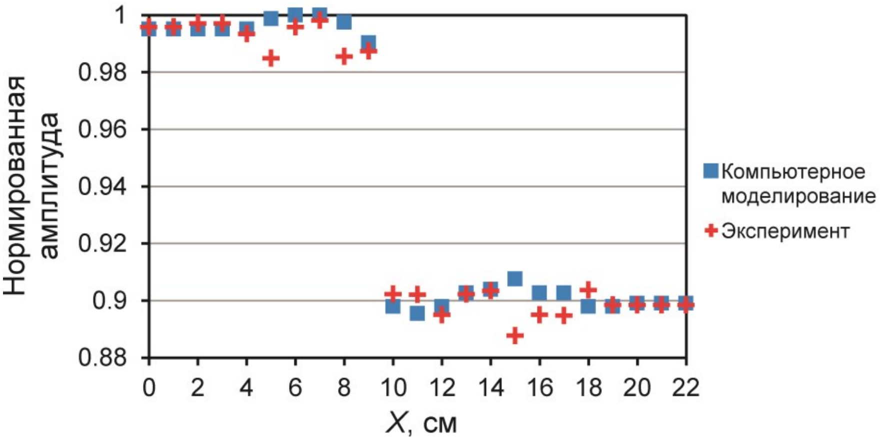


Рис. 5 – Амплитуды низшей моды стоячих волн на верхней грани модели слоя над границей блоков, полученные для линии Y=11 см экспериментально и при компьютерном моделировании

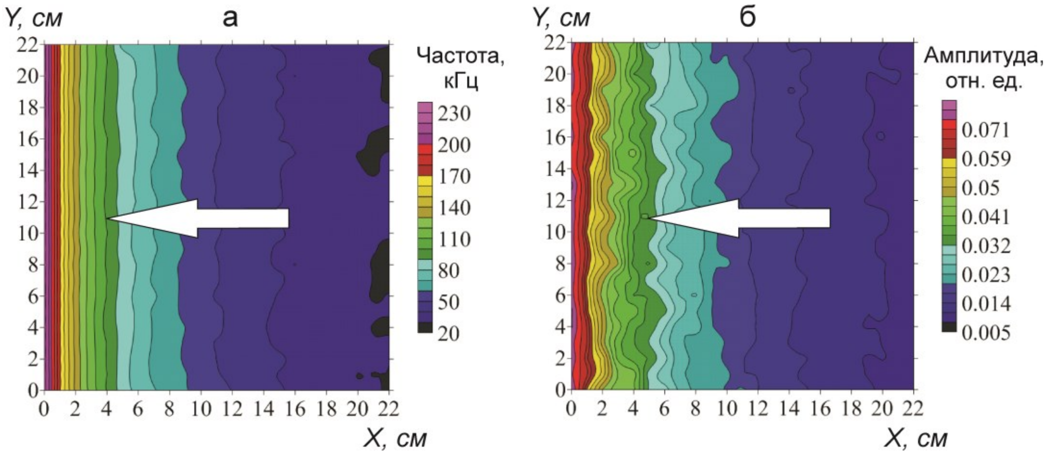


Рис. 6 – Распределение частот (*а*) и амплитуд (*б*) низшей моды стоячих волн на верхней грани модели выклинивающегося слоя. Стрелками показано направление выклинивания

Модель (рис. 2, *д*) имитировала линзовидную впадину, заполненную осадками с пониженными сейсмическими скоростями. Распределение частот и амплитуд низшей моды стоячих волн модели (рис. 2, *д)* показано на рис. 7.

К содержанию

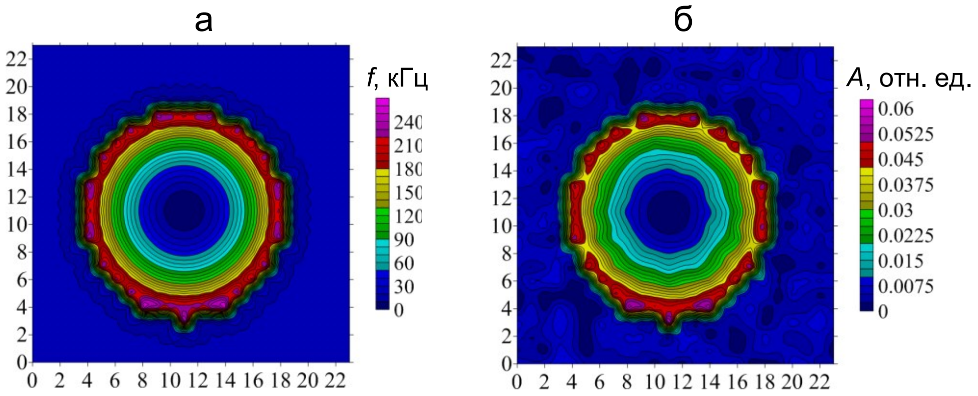


Рис. 7 – Распределение частот (*а*) и амплитуд (*б*) низшей моды стоячих волн на верхней грани модели линзы над слоями (рис. 2, *д*)

Как видно из рис. 6, для модели линзы над горизонтальными слоями (рис. 2, *д*) изолинии как частот, так и амплитуд низшей моды стоячих волн на ее верхней грани в основном имеют форму, близкую к концентрическим окружностям. При этом, как и в случае выклинивающегося слоя, увеличение частот и амплитуд, относительно плавное в центральной части линзы, происходит с резко возрастающим градиентом при уменьшении мощности линзы от ее центра к краям.

Заключение

В работах на результатах физического моделирования иллюстрируется возможность выделения стоячих волн из шумового поля в килогерцовом диапазоне частот. Эффективным инструментом для такого выделения может служить методика, разработанная в АСФ ГС СО РАН для обследования зданий и сооружений стоячими волнами, допускающая проведение несинхронных измерений на плотной сети наблюдений малоканальной аппаратурой с последующим приведением разновременных данных к единому времени. Экспериментальные результаты показали, что данная методика может с успехом применяться и для обследования относительно небольших объектов, например, различных конструктивных элементов сооружений, таких как балки или трубопроводные системы.

Физические данные хорошо согласуются с данными компьютерного моделирования, что говорит о правильности экспериментов.

По результатам трехмерного физического моделирования исследованы возможности определения резонансных свойств верхней части разреза по записям микросейсм. Показано, что реализованный в данной методике пересчет разновременных данных к «единому» времени позволяет в значительной мере нивелировать искажения, связанные с нестационарным характером микросейсмического поля. Экспериментально исследованы модели ВЧР нескольких видов: двухслойная и трехслойная среды. Показано, что рассматриваемая методика позволяет по зарегистрированным на поверхности ВЧР микросейсмам исследовать распределение частот и амплитуд отдельных мод стоячих волн на участке, где проводятся измерения. Карты спектральных амплитуд, построенные для фиксированных частот, могут быть использованы для выделения участков с повышенными для данных частот резонансными свойствами.

Литература

1. Еманов А.Ф. Пересчет стоячих волн при детальных инженерно-сейсмологических исследованиях / А.Ф. Еманов и др. // Геология и геофизика. - 2002. - Т. 43. - № 2. - С. 192–207.

2. Еманов А.Ф. Резонансные свойства верхней части разреза / А.Ф. Еманов и др. // Физическая мезомеханика. - 2008. - Т. 11. - № 1. - С. 26–36.

К содержанию

УДК 622.83

Харисов Тимур Фаритович
младший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620219, Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
Тел. (343) 350-60-23,
e-mail: timur-ne@mail.ru

Антонов Владимир Александрович
главный научный сотрудник,
доктор технических наук,
Институт горного дела УрО РАН,
620219, Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
Тел. (343) 350-37-09,
e-mail: antonov@igduran.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КРЕПИ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Аннотация:

По результатам экспериментальных измерений деформации горных пород, окружающих вертикальный ствол шахты, выявлена регрессионная закономерность ее изменения в связи с углублением забоя ствола. Дано теоретическое толкование закономерности, исходя из пластично-упругих свойств горного массива. Приведены практические выводы и рекомендации.

Ключевые слова: ствол шахты, углубка забоя, горный массив, деформация, регрессия

Kharisov Timur Faritovich
Junior Researcher
The Institute of Mining UB RAS
620219, Yekaterinburg, 58,
Mamin-Sibiryak st.
Tel. (343) 350-60-23,
e-mail: timur-ne@mail.ru

Antonov Vladimir Aleksandrovich
Chief Researcher
Doctor of Technical Sciences
The Institute of Mining UB RAS
620219, Yekaterinburg, 58,
Mamin-Sibiryak st.
Tel. (343) 350-37-09,
e-mail: antonov@igduran.ru

PROVISION SUPPORT STABILITY IN THE PROCESS OF VERTICAL SHAFT SINKING

Abstract:

According to the results of experimental measurements of rock's deformation surrounding the mine's vertical shaft, regression regularity of its change in connection with deepening the shaft's face is revealed. The theoretical interpretation of the regularity in terms of rock mass plastic-elastic properties is given. Practical conclusions and recommendations are presented.

Key words: mine's shaft, face deepening, rock mass, deformation, regression

По мере проходки и углубки вертикальных стволов напряжение массива окружающих горных пород повышается, что может приводить к искривлению их контуров, потере проектного сечения, а также возникновению опасных для рабочих вывалов и выбросов породы. Выполнение соответствующих ремонтных работ требует значительных финансовых и временных затрат. Поэтому обеспечение устойчивости крепи вертикальных стволов, а следовательно, и безопасности в процессе их строительства представляется актуальным и важным.

Крепи стволов находятся под воздействием гравитационных и тектонических напряжений, которые зависят от геологического строения окружающего массива горных пород и их физико-механических свойств. Основным фактором, определяющим характер нарастания горизонтальных напряжений при углубке забоя шахты, является деформация горного массива как сплошной пластично-упругой среды, вызванная разгрузкой, т. е. разуплотнением в контуре ствола. В работе [1], посвященной экспериментальным деформационным исследованиям, показано, что крепь ствола нагружается по его периметру неравномерно из-за разного действия дополнительных факторов. К ним относятся подвижки консолидированных блоков окружающих горных пород, вли-

К содержанию

яние их анизотропной структуры, наличие локальных зон трещиноватости и обводнения. Установлено, что по мере удаления от забоя минимальные и максимальные значения горизонтальной деформации крепи возрастают с постепенным переходом к стабильному состоянию. Однако до настоящего времени это явление теоретически не объяснено. Его становление и развитие не отображено количественными характеристиками и функциональной закономерностью. В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований, восполняющие отмеченный недостаток.

Горизонтальная деформация U сплошной среды горных пород, окружающих ствол шахты, зависит в основном от их пластичных и упругих свойств, расстояния H по вертикали до забоя и диаметра D ствола. Представим деформацию и расстояние до забоя в относительном виде, соответственно, $u = U / D$ и $h = H / D$. Составим уравнение, связывающее отмеченные величины в стационарном, т.е. установившемся по результатам деформации, состоянии горных пород. Действие фактора пластической деформации выражается дифференциальным соотношением $du_{\text{п}} = k_{\text{п}} dh$, где $k_{\text{п}}$ – коэффициент, характеризующий свойства пластичного сдвижения горных пород. Обратное действие фактора упругой сдвиговой деформации выразим соотношением $du_{\text{у}} = -udh/\lambda$, где λ – относительная длина вертикальной релаксации упругого напряжения. Суммарное действие факторов описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$du = k_{\text{п}} dh - \frac{udh}{\lambda}.$$

Интегрируя данное уравнение при граничном условии $u_{h=0}=0$, получим теоретическую зависимость $u(h)$ в общем виде.

$$u(h) = u_{\infty}(1 - e^{-\frac{h}{\lambda}}), \qquad (1)$$

где $u_{\infty} = k_n \lambda$ – сбалансированная относительная деформация горной породы.

Экспериментальная проверка теоретической зависимости $u(h)$ и количественная оценка соответствующих коэффициентов u_{∞}, λ проведена по результатам мониторинговых измерений напряженно-деформированного состояния крепи и окружающего массива горных пород на шахтах «Центральная» («ДНК») и «Молодежная» Донского горно-обогатительного комбината. Массив сложен ультраосновными породами силурийского возраста, представленными перидотитами, пироксеновыми и серпентинизированными дунитами. Тектонические нарушения массива сопровождаются оперяющими более мелкими зонами трещиноватости, что определяет его блоковое строение. Каждый блок в свою очередь разбит сетью разно ориентированных микротрещин.

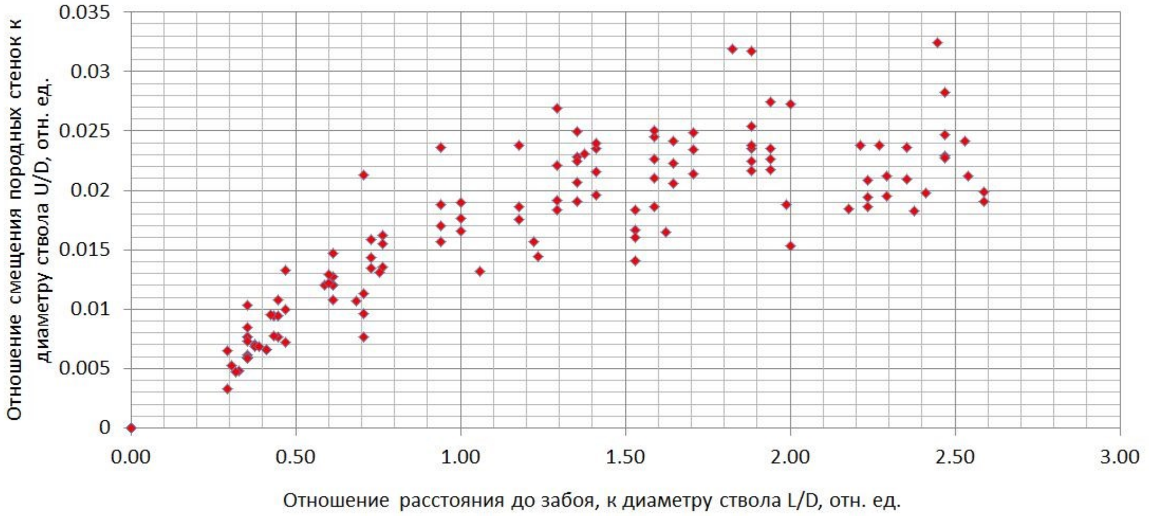


Рис. 1 – Относительное смещение породных стенок вблизи забоя в процессе проходки ствола «ДНК»

К содержанию

Измерение деформаций тюбинговой и бетонной крепи, а также породных стенок массива выполнялись методом больших баз и методом щелевой разгрузки. Измерения проводились в равномерно распределенных точках по периметрам окружностей ствола, находящихся на разных фиксированных расстояниях от его забоя. При углублении забоя одним и тем же фиксированным расстояниям соответствовали так же смещенные периметры. На рис. 1 представлены результаты измерений деформации окружающего массива вблизи забоя в процессе проходки ствола «ДНК». Измерения деформации, зарегистрированные на периметрах при фиксированном расстоянии от забоя, усреднены. Они отображают действие основного фактора пластично-упругих свойств окружающего горного массива и являются значимыми для данного эксперимента. Отклонения зарегистрированной деформации от средних значений объясняются действием упомянутых выше дополнительных факторов, которые при поиске зависимости $u(h)$ являются незначимыми. Поэтому такие отклонения деформации воспринимаются как случайные и совместно с погрешностью измерений характеризуются средним квадратичным значением σ_u=0,0018. Распределение точек средних значений относительной деформации и интервалов ее случайных отклонений σ_u показано на рис. 2.

По результатам экспериментальных измерений деформации построена ее нелинейная функционально-факторная регрессия, методология которой описана в работе [2]. Предварительно оценен допустимый интервал значений коэффициента детерминации R^2 искомой регрессионной модели, в котором она с вероятностью 0,95 должна быть адекватна распределению закономерной и случайной компонент в результатах измерений. По формулам $R^2_{\text{н}} = 1 - \dfrac{f\sigma^2_u}{\chi^2_{\alpha_1,f} D_u}$ и $R^2_{\text{в}} = 1 - \dfrac{f\sigma^2_u}{\chi^2_{\alpha_2,f} D_u}$ рассчитаны граничные значения интервала: нижнее $R^2_{\text{н}}$ =0,8925 и верхнее $R^2_{\text{в}}$=0,9364. Здесь обозначено: f – число степеней свободы; $\chi^2_{\alpha 1,f}$ и $\chi^2_{\alpha 2,f}$ – процентные точки распределения Пирсона на соответствующих уровнях α_1=0,025 и α_2=0,975; D_u – дисперсия средних значений относительной деформации. Исходное выражение регрессия принято в виде уравнения (1). Его коэффициенты оптимизированы по данным экспериментальных измерений (точки на рис.1). Соответствующий расчет проведен с помощью компьютерной программы построения функционально-факторных уравнений нелинейной регрессии с самоопределяющимися параметрами и повышенной достоверностью «Тренды ФСП-1». В результате получена следующая математическая модель зависимости $u(h)$:

$$u(h) = 0{,}0267(1 - e^{-\frac{h}{1{,}0272}}). \tag{2}$$

Коэффициент ее детерминации R^2=0,9238 удовлетворяет заданному интервалу адекватности, а среднее квадратичное отклонение точек экспериментально измеренной деформации от построенной регрессии $\sigma_{\text{рег}}$=0,0017 почти совпадает с приведенной выше оценкой σ_u. Это означает, что отклонения $\sigma_{\text{рег}}$ с вероятностью 0,95 объясняются погрешностью измерения и влиянием незначимых факторов, т.е. структурных неучтенных неоднородностей геологической среды локального действия. Следовательно, данной моделью отображена закономерность вертикального распределения горизонтальной относительной деформации окружающего массива, возникающей при уходке забоя вертикального ствола. Ее график показан на рис. 2.

К содержанию

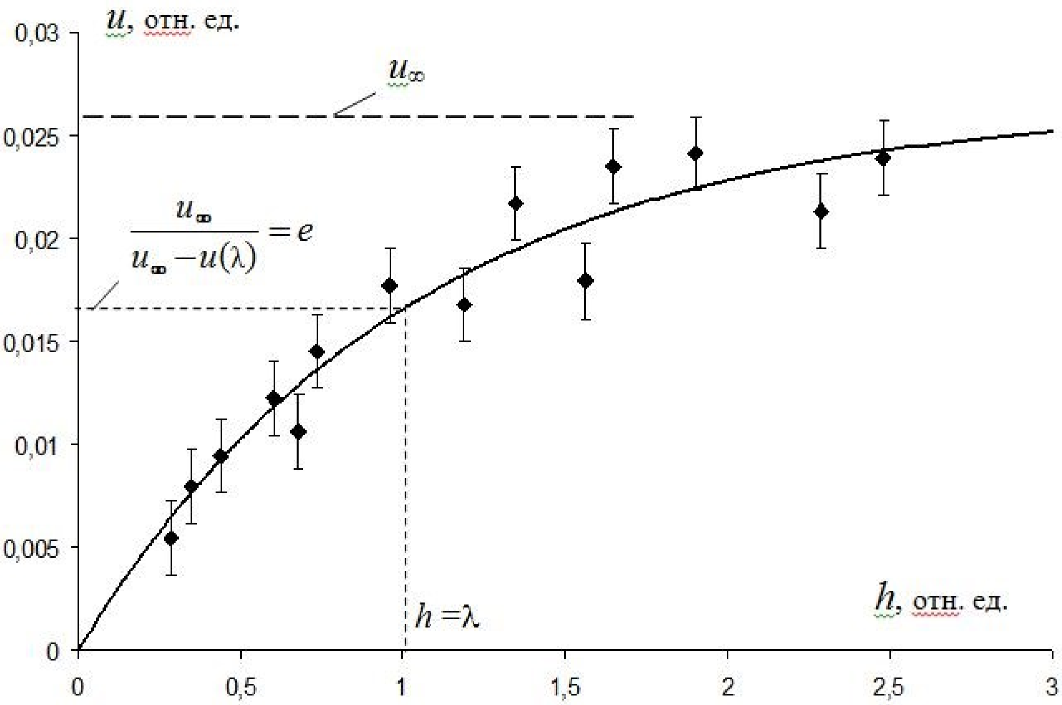


Рис. 2 – Распределение средней относительной деформации горного массива
и график ее функционально-факторной регрессии

Отметим некоторые особенности выявленной закономерности (2). Крутизна нарастания деформации по вертикали ствола определяется относительной длиной релаксации λ. Чем больше ее значение, тем меньше крутизна, т.е. график зависимости *u*(*h*) становится более пологим. В нашем исследовании для ультраосновных пород получено значение λ=1,0272. Также получено значение сбалансированной относительной деформации u_∞ =0,0257. Оно достигается при удалении от забоя на расстояние, намного превышающее длину λ. Непосредственно длина релаксации λ равна расстоянию от забоя, при котором разность $u_\infty - u(\lambda)$ меньше u_∞ в *e* раз, где *e* – основание натурального логарифма. Данная интерпретация длины λ отмечена на рис. 2. Вблизи забоя ствола при условии $h << \lambda$ деформация окружающего горного массива обусловлена преимущественным влиянием его пластических свойств. Горные породы, вследствие сжимающих напряжений, смещаются в направлении центра ствола. Из выражения (2) в этом интервале следует линейная зависимость $u(h) = u_\infty h / \lambda$. По мере увеличения относительного расстояния *h* нарастает компенсирующее влияние упругой сдвиговой деформации горного массива. Зависимость *u*(*h*) переходит от линейной стадии к сбалансированному состоянию. Уже на отметке $h = 3\lambda$ отношение $u(h)/u_\infty$ составляет 0,95.

Относительные значения деформационных величин *u*, *h*, λ переводятся в соответствующие абсолютные значения *U*, *H*, *L* путем умножения их на диаметр ствола *D*. Экспериментальные исследования проводились на стволе с размером *D*=8,5 м. Здесь длина релаксации и сбалансированная деформация оцениваются значениями: *L*=8,73 м, U_∞ =0,22 м. Вблизи забоя ствола, в интервале 0 <*H* <4 м , функция деформации *U*(*H*) хорошо аппроксимируется линейной зависимостью *U(H)* = 0,025*H*. При увеличении *H* эта зависимость утрачивается. Функция *U*(*H*) переходит к сбалансированному состоянию. Оно практически формируется на расстоянии *H*>26 м (*h*>3λ), где значения *U*(*H*) и U_∞ почти не отличаются.

К содержанию

Проведенные исследования приводят к следующим практическим выводам и рекомендациям. Поскольку деформации массива, вызванные уходом забоя, влекут за собой нарушение целостности крепи, необходимо возводить постоянную крепь после реализации большей доли деформаций, не нарушая при этом технологическую схему строительства ствола, которая была выбрана при проектировании. Реализация большей части деформации возможна за счет применения опережающей разгрузки окружающего массива в виде пилотной выработки меньшего диаметра и глубиной, равной длине релаксации λ. Кроме того, в качестве тампонажного раствора для тюбинговой крепи следует применять податливый материал, например, керамзитобетон. Его сжатие обеспечивается пористой структурой и происходит без потери прочностных свойств. При этом начальная толщина керамзитобетона должна выбираться с учетом уменьшения объема из-за максимально возможной деформации горного массива. Максимальное значение случайной деформации с вероятностью 0,99 составляет $3\sigma_{рег}$. Поэтому максимальная деформация в интервале $h \leq 3\lambda$ оценивается нарастающей функцией $u(h) + 3\sigma_{рег}$, а в интервале $h > 3\lambda$ сбалансированной суммой $u_\infty + 3\sigma_{рег}$.

Пилотная выработка проходится до возведения постоянной крепи, путем взрывания врубовых шпуров, глубина которых должна быть не меньше длины релаксации λ. Оставшуюся долю деформации массива воспринимает на себя уплотняющийся керамзитобетон, предохраняя тем самым крепь от разрушения.

Литература

1. Рыбак С.А. Особенности строительства и крепления вертикальных стволов в тектонически напряженном горном массиве / С.А. Рыбак // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 5. – С. 200 – 206.

2. Антонов В.А. Отображение горно-технологических закономерностей функционально-факторными уравнениями нелинейной регрессии / В.А. Антонов, М.В. Яковлев // Проблемы недропользования. Отд. вып. Горного информационно-аналитического бюллетеня. ОВ11 / ИГД УрО РАН. – М.: Горная книга, 2011. – С. 571 – 588.

К содержанию

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ, ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЕОЭКОНОМИКА И ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

К содержанию

УДК 504.4.054: 622 + 553.45 (571.62) + 004.94

Зверева Валентина Павловна,
доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник
Дальневосточный геологический институт
ДВО РАН; профессор
Дальневосточный федеральный университет
690022, г. Владивосток,
просп. 100 лет Владивостоку, 159
Тел. +7 (423) 231-87-50,
e-mail: zvereva@fegi.ru

Фролов Константин Русланович
аспирант
Дальневосточный геологический институт
ДВО РАН,
690022, г. Владивосток,
просп. 100 лет Владивостоку, 159
Тел. +79084532586,
e-mail: konstantin.fk@gmail.com

Костина Алена Михайловна
кандидат химических наук, научный сотрудник,
Дальневосточный геологический институт
ДВО РАН;
старший преподаватель
Дальневосточный федеральный университет
690022, г. Владивосток,
просп. 100 лет Владивостоку, 159
Тел. +79147272315,
e-mail: alyona5vbc@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКИСЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ КОМСОМОЛЬСКОГО РАЙОНА ХАБАРОВСКОГО КРАЯ В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОСФЕРУ

Аннотация:

Приводятся результаты моделирования дренажных вод на хвостохранилищах месторождений Комсомольского оловорудного района (Хабаровский край) в интервале температур от –10 до +45 °С. Установлены Eh – pH параметры систем техногенного минералообразования при разных соотношениях порода – сульфиды (95:5, 90:10, 80:20 и 60:40) в хвостах. Рассмотрен процесс кристаллизации гипергенных минералов из микропоровых растворов, установлен их качественный и количественный состав, показано их влияние на поверхностные и грунтовые воды района.

Ключевые слова: физико-химическое моделирование, гипергенез, хвосты, хвостохранилище, оценка экологического состояния, верификация.

Zvereva Valentina Pavlovna
Doctor of geological and mineralogical sciences,
chief research scientist and professor. **1.** Department of Chemical and Alternative Technologies,
School of Natural Sciences, Far Eastern Federal
University; **2.** Laboratory of Mineralogy, Far East
Geological Institute, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences,
159, Prospekt 100-letiya,
Vladivostok 690022, Russia
Tel. +74232318750,
e-mail:zvereva@fegi.ru

Frolov Konstantin Ruslanovich – postgraduate student. Laboratory of Mineralogy, Far East Geological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 159, Prospekt 100-letiya,
Vladivostok 690022, Russia
Tel. +79084532586,
e-mail: konstantin.fk@gmail.com

Kostina Alyona Mikhailovna – PhD candidate, research fellow, senior lecturer. **1.** Department of Chemical and Alternative Technologies, School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University; **2.** Laboratory of Mineralogy, Far East Geological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 159, Prospekt 100-letiya, Vladivostok 690022, Russia
Tel. +79147272315,
e-mail: alyona5vbc@mail.ru

MODELING OF SULFIDE OXIDATION PROCESSES IN THE TAILING DUMPS OF KOMSOMOLSKY REGION IN A WIDE TEMPERATURE RANGE AND THEIR IMPACT ON THE HYDROSPHERE

Abstracts:

The article presents modeling results of drainage water in the tailing dumps of the deposits of Komsomolsky tin ore district in the temperature range from -10 to +45 °С. The authors researched Eh-pH parameters of technogenic mineral systems for different ratios host rock - sulfides (95:5, 90:10, 80:20 and 60:40) in the tailings. The process of crystallization of hypergene minerals from micropore solutions was considered, their qualitative and quantitative composition was determined, their impact on the surface and ground water of the area was shown.

Key words: physicochemical modeling, hypergenesis, tailings, tailing dump, assessment of ecological situation, verification.

К содержанию

Развитие горнорудной промышленности в Комсомольском районе Хабаровского края происходило около 70 лет. Это привело к накоплению многочисленных канав, карьеров, штолен и хвостохранилищ, что способствовало созданию горнопромышленной техногенной системы площадью в десятки гектар, в которой гипергенные процессы активизируются благодаря увеличению поверхности соприкосновения сульфидов с агентами выветривания.

В районе две обогатительные фабрики и три хвостохранилища площадью 80,8 га, где накоплено 41,5 млн т отходов горнорудного производства. Тонкодисперсная масса хвостов состоит (%) из: жильного кварца – 37,5, турмалина – 12,1, роговиково-осадочных пород – 45 и сульфидов (пирит, пирротин, арсенопирит, халькопирит, галенит и сфалерит) – 3,8. Они содержат следующие полезные компоненты (г/т): Sn – 0,2, Cu – 0,46, Zn – 0,094, Pb – 0,123, Ag – 1,227, Bi – 0,03, As – 0,629.

Отрицательное воздействие горнопромышленных систем на экосферу в целом и гидросферу в частности показано во многих литературных источниках [1 – 3 и др.].

Основной целью данной работы является оценка воздействия гипергенных и техногенных процессов, протекающих на трех хвостохранилищах района в широком интервале температур, на гидросферу района. По климатической характеристике [4] температура в районе изменяется от –40 до +40 ºС, но при окислении сульфидов она повышается, поэтому верхний предел был взят на пять градусов выше. Исходя из цели, сформулированы следующие задачи: 1. Проследить процесс окисления сульфидов на трех хвостохранилищах района в интервале температур от –10 до +45 ºС. 2. Установить техногенные минералы, кристаллизующиеся из растворов дренажных и шламовых вод. 3. Определить качественный и количественный ионный состав этих вод. 4. Оценить их воздействие на гидросферу района. 5. Провести верификацию полученных данных.

Методы исследования. Моделирование техногенных процессов, протекающих в хвостах, проводилось с помощью программного продукта «Селектор-Windows». В предыдущей работе моделирование проводилось при температуре +25 ºС [5]. В данной работе рассматриваются системы с давлением 1 атм и с температурным интервалом от –10 до +45 ºС. Отношение вода – порода принималось 10:1. При моделировании учитывалось годовое количество осадков, составляющее 400 – 500 кг воды на 1 м^2 и выбранный интервал температур. Использовался следующий состав дождевой воды [6]: N_3^-, N_2^- NH_4^+, $NH_4N_3^0$, HNO_2^0, $NH_4NO_3^0$, NH_4OH^0, $NH_4NO_2^0$, NH_3^0, $H_2CO_3^0$, HCO_3^-, CO_3^{2-}, $C_2O_4^{2-}$, CH_4^0, O_2^0, H_2^0, N_2^0, Ar^0, He^0, Kr^0, Ne^0, OH^-, H^+, H_2O, NO_3^-, HNO_3 (pH=5,66). Модели были открыты к атмосфере. Химический состав атмосферы рассчитан по Р. Хорну [7]. Состав 10 кг атмосферы в молях включает: Ar – 3,209, C – 0,1036, N – 539,478, O – 144,8472. В расчетах учитывались 19 независимых компонентов (Al, Ar, As, B, C, Ca, Cu, Fe, K, Mg, N, Na, Pb, S, Si, Zn, H, O, e), 452 зависимых компонента, из которых 360 растворенные частицы, 18 газы и 74 наиболее вероятные гипогенные и гипергенные минералы.

Результаты исследования и их обсуждение. Отходы горнорудного производства на всех хвостохранилищах представлены тонкодисперсной массой серого цвета и состоят из пирита, пирротина, галенита, сфалерита, арсенопирита, халькопирита, кварца, турмалина и других минералов. Для создания моделей окисления сульфидов в контакте с минералами вмещающих пород использовался их различный состав, приведенный в табл. 1. Для каждого из хвостохранилищ моделировались системы с соотношениями вмещающая порода – сульфиды 95:5, 90:10, 80:20 и 60:40, так как в разных его частях состав отходов различен. Гипергенные минералы, выпавшие из концентрированных растворов рассматриваемых моделей, приведены в табл. 2.

В моделируемой системе хвостохранилища м. Солнечное – оловянного типа оруденения Центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) растворы близки и имеют pH 5,98 – 12,29 и Eh 0,58 – 0,843 В. В рассматриваемом интервале температур в моделях формируются минералы зоны гипергенеза и коры выветривания из класса оксидов и

К содержанию

гидроксидов, сульфатов, карбонатов, арсенатов и силикатов. Это минералы следующих катионов (г): Fe (гётит и скородит) 2,15 – 27,15 и 0,03 – 1,19 (кроме соотношения 95:5), Cu и Al (вудвардит) 0,02 – 2,56, Pb и Cu (дюфтит) 0,19 – 2,43 (кроме соотношения 95:5), Al (каолинит, алуноген и ростит), соответственно, 1,41 – 61,61, 2,29 – 55,88 и 0,49 – 7,02 (кроме соотношения 95:5), Mg (магнезит и старкеит) 0,26 – 6,6 и 0,4 – 0,5 (последний только при соотношении 60:40), Ca (гипс и кальцит) 0,33 – 3,55 и 0,20 –1,35 (95:5), K и Al (гидромусковит и мусковит) 0,3 – 3,74 и 1,82 – 12,62, Mg, Al и Fe (монтмориллонит) 14,91 – 15,56 (только при соотношениях 95:5 и 90:10).

В моделируемой системе хвостохранилища м. Солнечное – медно-оловянного типа Солнечной обогатительной фабрики (СОФ) растворы близки и имеют pH 6,02 – 12,12 и Eh 0,59 – 0,83 В. В рассматриваемых системах кристаллизуются те же гипергенные минералы, что и в предыдущих, но они отличаются количественной характеристикой. Часть из них выпадает при всех соотношениях (г): гётит 2,15 – 27,55, вудвардит 0,15 – 3,76, каолинит 1,25 – 60,74, магнезит 0,32 – 6,33, гипс 0,41 – 5,53, гидромусковит 0,13 – 3,7, мусковит 0,81 – 3,07. Другие – при всех соотношениях, кроме 95:5 (г): скородит 0,07 – 1,34 и ростит 0,33 – 6,87. Остальные минералы выпадают только при определенном соотношении (г): кальцит 0,16 – 1,86 (95:5), дюфтит 0,13 – 0,68 (80:20 и 60:40), алуноген 14,53 – 54,9 (80:20 и 60:40), старкеит 0,27 – 0,48 (60:40) и монтмориллонит 13,63 (90:10).

Таблица 1

Состав гипогенных минералов моделируемых систем окисления хвостов в контакте с вмещающей породой (%)

Минерал	Хвостохранилище		
	СОФ	ЦОФ	3-е
Сульфиды			
Пирит FeS_2	18	25	31
Пирротин $Fe_{1-x}S_n$	27,5	25	23,5
Арсенопирит FeAsS	25	22	11
Халькопирит $CuFeS_2$	25	16	9,5
Галенит PbS	1,5	5	13
Сфалерит ZnS	3	7	12
Вмещающая порода			
Гроссуляр $Ca_3Al_2[Si_3O_{12}]$	6,2	5	5,7
Альбит $Na[AlSi_3O_8]$	5	6,2	5,5
Клинохлор $Si_3Al_2Mg_5H_8O_{18}$	10	10	10
Мусковит $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	4,4	4,4	4,4
Биотит $NaFe_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	4,4	4,4	4,4
Турмалин $NaFe_3Al_6[BO_3]_3[Si_6O_{18}](OH)_4$	70	70	70

В моделируемой системе 3-го хвостохранилища, где складировались отходы переработки руд оловополиметаллического типа м. Перевальное, параметры растворов близки и имеют величины pH 6,09 – 12,06 и Eh 0,60 – 0,83 В. В них при всех соотношениях выпадают минералы (г): гётит 85,76 – 90,07, каолинит 2,76 – 61,57, магнезит 0,32 – 6,1, гипс 0,38 – 2,72, гидромусковит 0,3 – 3,74, мусковит 0,9 – 3,12. Некоторые минералы формируются при всех соотношениях, кроме 95:5 (г): скородит 0,37 – 5,33, вудвардит 0,1 – 1,96, дюфтит 0,37 – 5,33, алуноген 0,44 – 55,58, ростит 0,4 – 7,21. Другие минералы кристаллизуются при определенных соотношениях: старкеит 0,31 (60:40), кальцит 0,13 – 1,63 (95:5) и монтмориллонит 14,25 (90:10).

Таблица 2

Содержание гипергенных минералов в моделируемых системах окисления хвостов в контакте с вмещающей породой (г)

Минерал	Хвостохранилище		
	ЦОФ	СОФ	3-е
Лёд H_2O	85,32-89,99	85,18-89,91	85,76-90,07
Гётит $FeOOH$	2,15-27,15	2,15-27,55	2,12-26,34
Магнезит $MgCO_3$	0,26-6,6	0,32-6,33	0,32-6,1
Кальцит $CaCO_3$	0,20-1,35	0,16-1,86	0,13-1,63
Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0,33-3,55	0,41-5,53	0,38-2,72
Старкеит $Mg[SO_4] \cdot 4H_2O$	0,4-0,5	0,27-0,48	0,31
Гидромусковит $K[Al_3Si_3O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$	0,3-3,74	0,13-3,7	0,30-3,74
Мусковит $K[Al_3Si_3O_{10}](OH)_2$	1,82-12,62	0,81-3,07	0,9-3,12
Кварц SiO_2	0,45-12,62	0,08-12,43	0,09-12,01
Каолинит $Al_2[SiO_3]_2(OH)_4$	1,41-61,61	1,25-60,74	2,76-61,57
Вудвардит $Cu_4Al_2[SO_4](OH)_{12} \cdot H_2O$	0,02-2,56	0,15-3,76	0,1-1,96
Ростит $Al[SO_4](OH) \cdot 5H_2O$	0,49-7,02	0,33-6,87	0,4-7,21
Алуноген $Al_2[SO_4]_3 \cdot 18H_2O$	2,29-55,88	14,53-54,9	0,44-55,58
Дюфтит $PbCu[AsO_4](OH)$	0,19-2,43	0,13-0,68	0,37-5,33
Скородит $Fe[AsO_4] \cdot 2H_2O$	0,03-1,19	0,07-1,34	0,04-0,59
Монтмориллонит $m\{Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2\} \cdot p\{Al, Fe^{3+})_2[Si_4O_{10}](OH)_2\} \cdot nH_2O$	14,91-15,56	13,63	14,25

Следует отметить, что количество кристаллизующихся минералов во всех системах при температуре ниже 0 °С низкое, а минерализация этих растворов очень высокая. Так, в моделях хвостохранилища ЦОФ она составляет 144 – 284, СОФ 142 –280, а на третьем 146 – 287 г/л. С увеличением температуры от 0 до +20 °С минерализация раствора возрастает (г/л): на хвостохранилище ЦОФ от 21,08 до 22,21, а затем уменьшается до 20,55, СОФ – 20,37-21,63 – до 20,37, на третьем – 21,48-22,24 – до 21,89.

При температуре ниже 0 °С в моделях присутствует вода в твердом виде (лёд), содержание которой изменяется от 85,18 до 90,07 г, причем с увеличением сульфидов и уменьшением вмещающих пород в системе ее количество снижается. Кристаллизация одних минералов (скородита, старкеита и ростита) в моделях происходит при отрицательной температуре в интервале от 0 до –10 °С, а других (кальцит, алуноген, вудвардит, дюфтит, монтмориллонит) – при положительной – от 0 до +45 °С. Остальные минералы (гётит, каолинит, гипс, магнезит) выпадают во всем интервале от –10 до +45 °С, но их количество при отрицательных значениях температуры значительно ниже, чем при положительных. Следовательно, кристаллизация при низких температурах затруднена. Для выпадения в системе монтмориллонита необходимы высокая температура от +40 до +45 °С и большое содержание кремния от 90 до 95 %. Дюфтит, наоборот, характерен для систем с большим содержанием сульфидов (от 10 до 40 %), причем, чем их больше, тем раньше минерал выпадает, т. е. при более низкой температуре. Например, в моделях 3-го хвостохранилища, где в системе больше галенита, температурный интервал существования этого минерала от +20 до +45 °С, а на шламохранилище СОФ он появляется только при +30 °С. Мусковит относится к гипогенным минералам, а полученные при моделировании результаты свидетельствуют о том, что он может иметь и гипергенное происхождение, так как выпавший во всех моделях гидромусковит при температуре +25 °С теряет воду и переходит в мусковит, о чем свидетельствуют и результаты моделирования, полученные нами при моделировании гипергенных процессов в Кавалеровском районе [8].

Кристаллизация одних минералов в большинстве систем с увеличением температуры возрастет, например, гидромусковита, каолинита, ростита и дюфтита, а других в

К содержанию

большинстве вариантов уменьшается (магнезита, кварца, алуногена, скородита и мусковита), количество третьих до какой-то температуры возрастает, а затем уменьшается (вудвардит и гипс). Содержание одних минералов (гётит, каолинит, алуноген) высокое – десятки грамм, а других низкое – сотые доли (пиролюзит 0,02 и миметезит 0,01).

Ионный состав полученных растворов представлен следующими ионами:

– атмосферных газов: CO_2^0, CO_3^{2-}, HCO_3^-, HNO_2^0, HNO_3, ^{0} N_2^0, NO_2^-, NO_3^-, O_2^0, OH^-, H^+;

– сульфидных элементов: As_5^+, $CuCO_3^{2-}$, Cu^{2+}, $CuCO_3^0$, CuO^0, $CuOH^+$, $CuSO_4^0$, $H_2AsO_4^-$, $H_3AsO_4^0$, $HAsO_4^{2-}$, $HCuO_2^-$, $HFeO_2^0$, FeO^+, FeO_2^-, $FeOH^{2+}$, $HPbO_2^-$, HSO_4^-, $HZnO_2^-$, $Pb(CO_3)_2^{2-}$, $Pb(SO_4)_2^{2-}$, Pb^{2+}, $PbHCO_3^+$, $PbNO_3^+$, PbO^0, $PbOH^+$, $PbSO_4^0$, $Zn(CO_3)_2^{2-}$, $Zn(SO_4)_2^{2-}$, Zn^{2+}, $ZnCO_3^0$, $ZnHCO_3^+$, ZnO^0, $ZnOH^+$, $ZnSO_4^0$, SO_4^{2-};

– вмещающих пород: $Al(OH)^{2+}$, Al^{3+}, AlO^+, AlO_2^-, AsO_4^{3-}, $B(OH)_3^0$, BO_2^-, $Ca(HCO_3)^+$, $CaHSiO_3^+$, Ca^{2-}, $CaCO_3^0$, $CaCl^+$, $CaOH^+$, $CaSO_4^0$, $H_2P_2O_7^{2-}$, $H_2PO_4^-$, $H_3PO_4^0$, $HAlO_2^0$, $HP_2O_7^{3-}$, HPO_4^{2-}, $HSiO_3^-$, K^+, $KHSO_4^0$, KOH^0, $MgCO_3^0$, $Mg(HCO_3)^+$, $MgHSiO_3^+$, Mg^{2+}, $MgCl^+$, Mn^{2+}, $MnOH^+$, $MnSO_4^0$, Na^+, $NaAsO_4^{2-}$, $NaCl^0$, $NaHSiO_3^0$, $NaOH^0$, $NaSO_4^-$, $P_2O_7^{4-}$, PO_4^{3-}, SiO_2^0.

Наибольшее количество рудных элементов (Cu, Pb, Zn, S) в растворах отмечается при отрицательной температуре. В диапазоне положительных температур ионный состав становится более разнообразным, а содержание вышеприведенных элементов в водных растворах постепенно снижается на порядок или два.

Моделируемые растворы дренажных вод на всех хвостохранилищах характеризуются высокой концентрацией (мг/л): серы 1330 – 9600, свинца 66 – 66800, цинка 731 – 53600, мышьяка 244 – 46600 и меди 33 – 53900. В них содержатся ионы кальция, калия, натрия, железа, марганца, кремния, алюминия, бора и других элементов.

Общая минерализация растворов на хвостохранилищах (г/л): ЦОФ 20 – 397, СОФ 21 – 462, 3-м 20 – 428. Если оценить влияние каждого отдельно взятого хвостохранилища, то максимальный ущерб гидросфере наносит шламохранилище СОФ, а минимальный – ЦОФ. Суммарный вынос элементов со всех хвостохранилищ изменяется от 61 до 1287 г/л.

Верификация, проведенная ионным и минеральным составом [1], а также сравнением содержания элементов в моделируемых растворах с гидрохимическими данными по шламовым и дренажным водам [2 – 3], подтвердила правильность полученных результатов.

Заключение

Проведенное авторами физико-химическое моделирование основных этапов существования осушенных хвостохранилищ Комсомольского оловорудного района в интервале температур от –10 до +45 °С дает полную картину формирования дренажных вод, которые ничем не очищаемые круглосуточно десятилетиями попадают в поверхностные воды (реки Силинка и Холдами, причем из первой производится водозабор питьевых вод для пос. Горный) и загрязняют их. Гидросфера подвергается сильнейшей техногенной нагрузке как элементами сульфидов S, Zn, Cu, Pb, Fe, так и вмещающих пород B, Mg, K, Na, Ca, Si и Al.

Полученные результаты позволяют показать процесс окисления сульфидов, определить условия образования гипергенных минералов, оценить вероятную интенсивность выноса токсичных элементов и дать количественную оценку их воздействия на гидросферу. Физико-химические модели окисления сульфидов показали, что из высококонцентрированных растворов кристаллизуются гипергенные минералы Fe, Cu, Pb, Al, Mg, K и Ca из класса сульфатов, карбонатов, силикатов, арсенатов, оксидов и гидроксидов. Образующиеся в равновесии с ними поровые растворы, содержащие широкий спектр ионов тяжелых металлов и вмещающих пород, предопределяют состав дренажных вод. Минерализация этих растворов достигает 462 г/л. Концентрация основных элементов сульфидов и вмещающих пород, большинство из которых токсичны, превы-

К содержанию

шает фоновые значения и ПДК (рыбохозяйственные) в десятки, сотни и даже тысячи раз. Моделирование позволяет оценить состояние горнопромышленной техногенной системы в пространстве и времени, получить новые данные параметров современного техногенного минералообразования и показать Eh – pH условия их существования.

Литература

1. Зверева В.П. Экологические последствия гипергенных процессов на оловорудных месторождениях Дальнего Востока / В.П. Зверева. - Владивосток: Дальнаука, 2008. - 166 с.

2. Zvereva V.P. Anthropogenic Waters in the Komsomolsk, Kavalerovskii, and Dalnegorsk Mining Areas of the Far East and Their Impact on the Hydrosphere / V. P. Zvereva, L. T. Krupskaya // Russian Journal of General Chemistry. – 2012. - Vol. 82, No. 13. - P. 2244 - 2252.

3. Елпатьевский П.В. Горнопромышленный комплекс как фактор формирования химического состава вод / П.В. Елпатьевский, Т.Н. Луценко // Научные и практические аспекты добычи цветных и благородных металлов: тез. докл. междунар. совещ. Хабаровск. - 2000. - Т. 2. - С. 407 - 415.

4. Витвицкий Г.Н. Дальний Восток. Физико-географическая характеристика / Г.Н. Витвицкий. - М.: Изд-во АН СССР, 1961. - Гл. Климат. - С. 93 - 115.

5. Костина А.М. Оценка воздействия хвостохранилищ оловорудного Комсомольского района Дальнего Востока на гидросферу / А.М. Костина и др. // Химическая технология. - 2012. - № 5. - С. 316 - 320.

6. Карпов И.К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии / И.К. Карпов. - Новосибирск: Наука, 1981. - 247 с.

7. Хорн Р. Морская химия / Р. Хорн. - М.: Мир, 1972. - 398 с.

8. Зверева В.П. Моделирование процессов окисления сульфидов на хвостохранилищах Кавалеровского района и их влияние на гидросферу (Приморский край) / В.П. Зверева, А.Д. Пятаков, А.М. Костина // Экологическая химия. - Т. 22. - Вып. 3. - 2013. - С. 151 - 155.

К содержанию

УДК 504.064.4:628.46(477.63)

Василенко Елена Александровна
аспирант,
Национальный горный университет,
49000, Украина г. Днепропетровск,
пр. Карла Маркса, 19
Тел. (096)215-33-33,
e-mail: vasilenkoelena20@ukr.net

Коровяка Евгений Анатольевич
кандидат технических наук,
доцент кафедры транспортных систем
и технологий,
Национальный горный университет
49000, Украина, г. Днепропетровск,
пр. Карла Маркса, 19
Тел. (0562) 46-90-42, (050) 955-12-02

РЕГЕНЕРАЦИЯ МЕТАНА, ВЫДЕЛЯЕМОГО МУСОРНЫМИ СВАЛКАМИ, И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО УТИЛИЗАЦИИ В ДНЕПРОПЕТРОВСКОМ РЕГИОНЕ

Аннотация:

В работе рассмотрен опыт использования полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) как источника высокоэнергетического газа, который может найти применение в различных отраслях промышленности.

Метан, выделяемый мусорными свалками, может быть эффективно использован в производстве автомобильного топлива, электроэнергии и тепла в зависимости от расположения полигонов относительно хозяйственной инфраструктуры. Утилизация метана позволит решить проблему повышения экологической безопасности полигонов ТБО для окружающей среды.

Анализ, разработка и обоснование технологических решений возможны лишь с учетом определения общего объема метана, выделяемого мусорными свалками, и технико-экономического обоснования его себестоимости, позволяющего далее принимать проекты по непосредственному использованию свалочного газа.

Практические предложения по выбору и обоснованию направлений использования метана, выделяемого мусорными свалками, и технологические схемы утилизации могут быть использованы и дадут достаточный социально-экономический эффект в условиях Днепропетровского региона.

Ключевые слова: метан, свалочный газ, регенерация, утилизация, полигоны твердых бытовых отходов, экологическая безопасность

Vasilenko E.A.
the postgraduates, The State HIGH SCHOOL "NMU" (State institution of higher education, National Mining University),
49000, the Ukraine
Dnepropetrovsk , 19, Karl Marx avenue.
Tel. (096) 215-33-33.
e-mail: vasilenkoelena20@ukr.net

Korovyaka E.A.
Associate Professor of Transport Systems and the State HIGH SCHOOL "NMU" (State institution of higher education, National Mining University),
Ph.D., 49000, the Ukraine,
Dnepropetrovsk,19, Karl Marx avenue.
Tel. (0562) 46-90-42 mob. (050) 955-12-02

REGENERATION OF METHANE EMITTED FROM LANDFILLS, AND THE POSSIBILITY OF IT UTILIZATION IN THE DNEPROPETROVSK REGION

Abstract:

This paper describes the experience of solid waste use (MSW) as a source of high-energy gas, which may find application in various branches of industry.

Landfill gas can be efficiently used in the manufacture of automotive fuel, electricity and heat, depending on the location of landfills with respect to the economic infrastructure. Methane utilization will solve the problem of improving the ecological safety of landfills for the environment.

Analysis, development and grounding technological solutions are possible considering the total amount of methane determination emitted from landfills, and the feasibility of its production costs, that allows further project development on direct use of landfill gas.

Practical suggestions on selection and grounding the directions of application the methane, emitted from landfills, and technological schemes of utilization can be used and will provide social and economic effect in the conditions of Dnepropetrovsk region.

Key words: methane, landfill gas, regeneration, utilization, solid waste landfills, environmental safety.

К содержанию

Метан является основным компонентом газа, выделяемого мусорными свалками (свалочного газа). Выбросы метана в атмосферу делают его основным виновником возникновения «парникового эффекта». В результате сокращения выбросов метана, при улавливании свалочного газа и его применении в качестве энергоносителя можно добиться производства значительного количества энергии, а также положительных экономических и экологических результатов. Осуществление проектов по регенерации энергии свалочного газа способствует сокращению парниковых газов и загрязняющих воздух веществ, что положительно сказывается на состоянии окружающей среды и снижает потенциальный риск для здоровья человека. Кроме того, проекты по свалочному газу снижают зависимость от отдельных энергоносителей, способствуют экономии, создают рабочие места и помогают развитию экономики на местах. В международном масштабе существуют значительные возможности для расширения применения энергии свалочного газа [1].

Ежедневно в Украине тысячи тонн городских твердых отходов поступают на мусорные свалки. В результате естественного процесса разложения органических веществ, таких как продукты питания и бумага, захороненных на этих свалках, выделяется свалочный газ, являющийся побочным продуктом разложения. Этот газ состоит примерно на 50 % из метана (CH_4), который является основным компонентом природного газа, и на 50 – из двуокиси углерода (углекислого газа) (CO_2) и небольших примесей органических веществ, не входящих в группу метана [2].

Во всем мире мусорные свалки являются третьим по величине антропогенным источником выбросов и составляют примерно 12 % глобальных выбросов [2].

Общеизвестно, что в течение последних двух десятилетий население Украины уменьшилось почти на 5 млн человек (или 10 %) от численности в 51 млн человек в 1991 г. до 45,5 млн в 2013 г., однако количество бытового мусора не только не уменьшается, но, наоборот, продолжает накапливаться и увеличиваться. Например, за последние десять лет объем бытовых отходов – продуктов жизнедеятельности каждого жителя в Украине увеличился на 40 %. Департамент экологической безопасности Министерства охраны окружающей среды оценивает концентрацию в Украине всех видов отходов в объеме около 35 млрд т, из них 2,6 высокотоксичны [3].

По данным экологов, каждый украинец ежегодно создает около 220 – 250 кг твердых бытовых отходов, а жители больших городов 330 – 380 кг, и эти объемы постоянно растут. Более 90 % твердых бытовых отходов (ТБО) в Украине вывозится на свалки и полигоны. Захоронение отходов на свалках требует отчуждения больших территорий и их дорогостоящего обустройства. Как сообщает Национальный экологический центр Украины, на полигонах и свалках накопилось больше миллиарда кубометров отходов жизнедеятельности человека, из которых, согласно официальным данным Госкомстата Украины, повторную переработку проходит 3,5 %. Все эти отходы занимают более 7 000 га земли, это фильтрат, загрязняющий грунт, отравляющий грунтовые воды, приносящий невосполнимый вред здоровью людей. Кроме того, это свалочный газ, образующийся при захоронении органических веществ, макрокомпонентами которого является метан (CH_4) и диоксид углерода (CO_2) . На рис. 1 представлено ориентировочное распределение объемов выбросов CH_4 с мусорных свалок в промышленных областях Украины.

Регенерация метана, выделяемого мусорными свалками, и возможности применения в Днепропетровском регионе. Днепропетровский регион был провозглашен зоной чрезвычайного экологического бедствия еще в 2007 г. Но ситуация не только не улучшилась, но продолжает ухудшаться. В городе ежегодно образуется 300 – 350 тыс. т ТБО и до 400 тыс. т строительного мусора (рис. 2). Для захоронения используются два полигона: небольшую часть вывозят на полигон под г. Новомосковском, 140 – 150 тыс. т направляются на завод по сжиганию бытовых и строительных отходов, а все остальные отходы, то есть половина всего объема, остаются на несанкционированных свалках в пределах города [3].

К содержанию

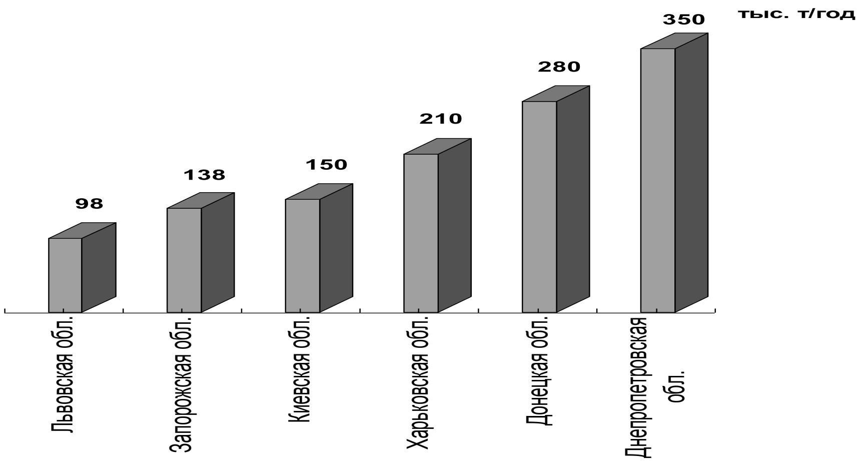


Рис. 1 – Общий объем выбросов метана (тыс. т/год) с мусорных свалок в промышленных областях Украины за 2012 г.

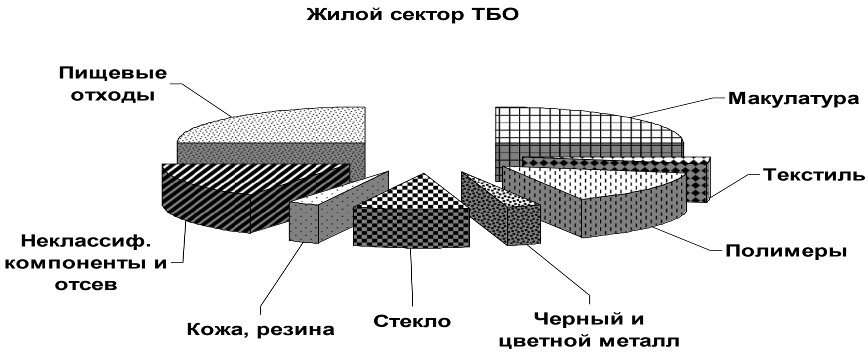


Рис. 2 – Состав твердых бытовых отходов в Днепропетровском регионе на 2010 г.

Процесс регенерации метана можно показать на примере муниципальной Игреньской свалки площадью 14,9 га, расположенной за жилым массивом Игрень по Синельниковскому шоссе (рис. 3). Среднее расстояние от центра города – 22 км. Она эксплуатировалась с 1974 г., в 2007 г. была закрыта [4].

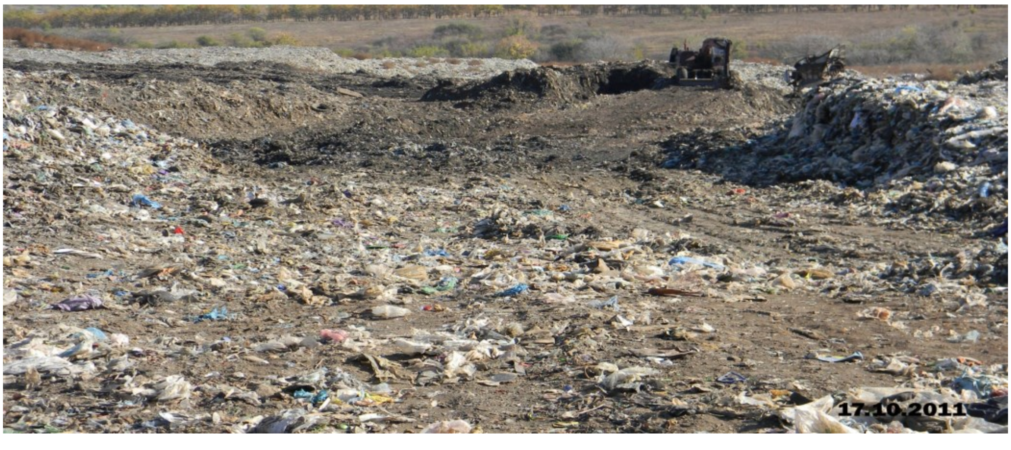


Рис. 3 – Игреньская свалка (фото автора)

К содержанию

Сбор свалочного газа из мусорных свалок производится при помощи ряда скважин и вакуумной системы, подающей собранный газ в место обработки. Оттуда свалочный газ поступает для применения в различных целях.

Технологическая схема извлечения свалочного газа. Для экстракции свалочного газа на полигонах обычно используется следующая принципиальная схема: сеть вертикальных газодренажных скважин соединяют линиями газопроводов, в которых компрессорная установка создает разрежение, необходимое для транспортировки свалочного газа до места использования (рис. 4). Установки по сбору и утилизации монтируются на специально подготовленной площадке за пределами свалочного тела. Принципиальная технологическая схема сбора свалочного газа приведена на рис. 5 [5].

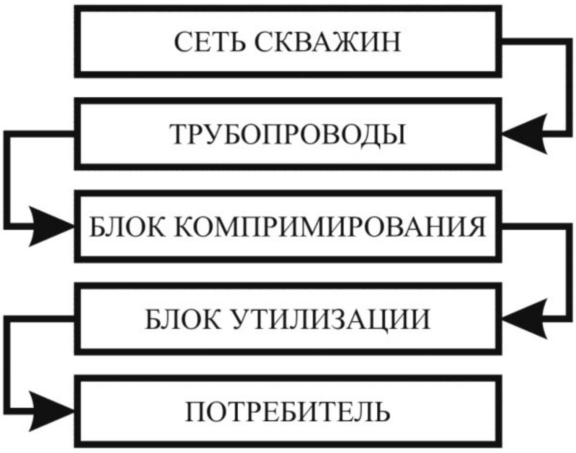


Рис. 4 – Блок-схема установки для добычи и утилизации биогаза

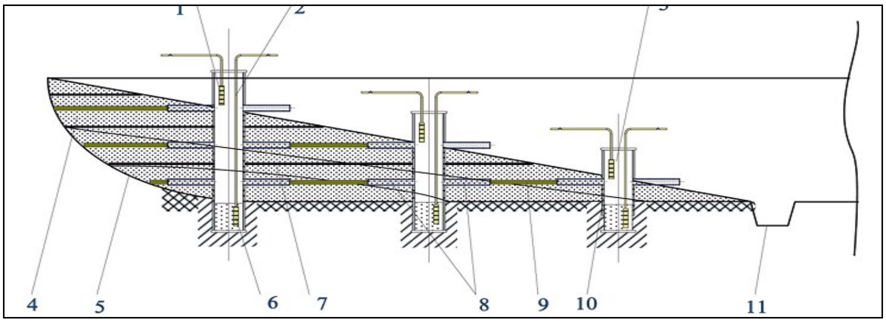


Рис. 5 – Принципиальная схема полигона

1 – газосборник; *2* – полимерный трубопровод для отвода фильтрата; *3* – колодец вертикального газового дренажа; *4* – отходы ТБО; *5* – основание полигона; *6* – эрлифт; *7* –противофильтрационный слой ФРМ и БРМ; *8* – система горизонтального газового дренажа; *9* –инициирующие компоненты биологического происхождения; *10* – система вертикального газового дренажа; *11* – дренажная канава

Варианты применения свалочного газа в Днепропетровском регионе:

– производство электроэнергии с использованием двигателей, турбин, микротурбин и других технологий;

– переработка свалочного газа для изготовления альтернативного топлива для местных промышленных предприятий или других организаций, нуждающихся в постоянных поставках топлива. Непосредственное применение свалочного газа является надежным и требует минимальной переработки и незначительных модификаций имеющегося оборудования для сжигания;

– использование свалочного газа для производства газа газопроводного качества или альтернативного транспортного топлива.

Методы извлечения свалочного газа из ТБО

Скважины. Для добычи метана на полигонах ТБО применяются вертикальные скважины. Обычно они располагаются равномерно по территории свалочного тела с

К содержанию

шагом 50 – 100 м между соседними скважинами. Их диаметр колеблется в интервале 200 – 600 мм, а глубина определяется мощностью свалочного тела и может составлять несколько десятков метров. При бурении скважин в толще отходов в местных условиях наиболее целесообразным считается использование шнекового бурения.

Факельное сжигание. Процесс сжигания в факеле оправдан с той точки зрения, что погрешность расчета газообразования составляет обычно не менее 30 %. В случае отсутствия надежных данных о морфологическом составе ТБО и регистрации количества завозимых ТБО погрешность может увеличиться в несколько раз. Если биогаз планируется использовать в энергетических целях, такая погрешность недопустима. Наиболее простая схема этого процесса выглядит следующим образом:

- установка по откачиванию газа мусорной свалки,
- система обезвоживания,
- контроль и управление процессом,
- анализ газа,
- сжигание поступления.

Безкислородное брожение ТБО. На первом этапе строительства создается принимающая емкость (котлован), рассчитанный на 10 – 20 лет пользования. На дне котлована укладывается слой глины толщиной 1 м (или полиэтиленовая пленка) для предотвращения проникновения загрязненных вод в почву. В процессе строительства мусор вносится в котлован порциями в специальные ячейки, соответствующими суточной норме его поступления на свалку. Каждая такая ячейка высотой от 2 до 4 м изолируется глиной от предшествующих и последующих.

После заполнения котлована мусором его закрывают «кровлей» – глиной, пленкой, засыпают землей, сверху высаживают траву. Котлован оснащается инженерными сооружениями для отвода жидких и газообразных продуктов разложения мусора. В теле котлована закладываются скважины, трубы, устанавливается насосное оборудование. Полученный газ передается по трубопроводам на электростанции, котельные, печи обжига, микротурбины и т. п.

Первые 2 – 3 месяца из закрытого котлована с мусором выходит, в основном, CO_2. Затем начинается выделение полноценного свалочного газа, которое продолжается до 30 – 70 лет. После 25 лет выработка метана начинает медленно сокращаться. После прекращения выработки газа территория, занятая котлованом, может быть повторно использована для переработки муниципального мусора [5].

Технология сбора и отвода свалочного газа на полигоне твердых бытовых и промышленных отходов. *Пункт сбора свалочного газа.* Газосборный пункт предназначен для принудительного извлечения свалочного газа из свалочной толщи. Для этого с помощью специального электровентилятора в системе газопроводов создается небольшое разрежение (около 100 мбар).

Способ сбора и отвода свалочного газа может быть использован при обезвреживании твердых бытовых и промышленных отходов путем захоронения их на полигонах. В способе сбора и отвода свалочного газа на полигоне, включающем подготовку основания, монтаж системы вертикального газового дренажа из скважин с перфорированными стенками, послойную укладку отходов, монтаж системы горизонтального газового дренажа на поверхности каждого завершенного слоя отходов в виде дрен, изолирующее покрытие поверхности сформированного полигона, свалочный газ отводят из скважин. При этом на фундаментах, распределенных по площади полигона, оборудуют скважины вертикального газового дренажа на определенную высоту. Затем производят засыпку внутренней полости и обсыпку внешней поверхности каждой скважины. После укладки первого слоя отходов формируют на его поверхности горизонтальные дрены, примыкающие к внешней дренирующей обсыпке скважин. Наращивают перфорированные скважины до определенной высоты. Обсыпают внешнюю поверхность скважин на высоту следующего слоя отходов дренирующим материалом. В последнем цикле

К содержанию

наращивания скважины оборудуют стенками без перфораций, выше поверхности сформированного полигона и без обсыпки их внешней поверхности дренирующим материалом [5].

Газовые котлы. Непосредственное сжигание биогаза в котлах сети централизованного теплоснабжения, а также промышленных котлах в радиусе 3 км от полигона, как правило, является наиболее рентабельным способом его утилизации. Существенным фактором, влияющим на экономические показатели проекта, является наличие относительно равномерного потребления биогаза на протяжении всего года.

Современные бытовые и промышленные газовые котлы, как правило, не предназначены для работы на низкокалорийном биогазе. Ситуация осложняется еще тем, что в биогазе в значительных концентрациях может содержаться углекислый газ. Одним из способов решения этой задачи является применение специально разработанных щелевых подовых горелок для сжигания биогаза. При разработке конструкции горелок учтены специфические особенности горения биогаза (малые пределы устойчивости пламени и т.д.). Они могут работать в широком диапазоне режимов эксплуатации котла с расходом биогаза от 160 до 318 м^3/ч. Горелки изготовлены из специальных сталей, имеют съемные сопла, которые не подвержены сероводородной коррозии, а также имеют специальные устройства для стабилизации пламени. С целью уменьшения коэффициента избытка воздуха горелки имеют специальные полосы, направляющие воздух к каждому из сопел, и не допускают большого избытка воздуха.

Технологии получения тепловой и электрической энергии с использованием свалочного газа. В процессе активной стадии дегазации полигона выделяющийся из субстрата свалочный газ собирается, например, в газгольдере через систему удаления конденсата водных паров. Из газгольдера свалочный газ поступает к потребителям через систему очистки от вредных примесей: воды, серы, углекислого газа. Очищенный газ поступает непосредственно в котлы для производства тепла или в когенерационные установки для выработки электроэнергии. Также свалочный газ может использоваться для производства холода на абсорбционных или комбинированных холодильных машинах и т.д.

С учетом проведенных исследований можно сделать следующие выводы: полигоны ТБО Днепропетровского региона являются источниками высокоэнергичного газа, содержащего до 70 % биометана, который может быть эффективно использован в производстве автомобильного топлива, электроэнергии и тепла в зависимости от расположения полигонов относительно хозяйственной инфраструктуры; утилизация свалочного биогаза позволит значительно улучшить экологическую ситуацию в области, предотвратив выделение парниковых газов в объеме 350 тыс. т/год CO_2- эквивалента, а также токсичных веществ.

Литература

1. Глобальная инициатива по метану: Глобальные выбросы метана и возможности их снижения [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.globalmethane.org/gmi/

2. Пятничко А.И. Утилизация биогаза закрытых полигонов ТБО / А.И. Пятничко, В Е. Баннов // Экология плюс. − 2009. − № 4. − С. 12 - 14.

3. Бондаренко Б.І. Проблема утилізації твердих побутових відходів та знешкодження небезпечних відходів в Україні; Від проекту концепції − до державної науково-технічної програми / Б.І. Бондаренко, В.А. Жовтянський // Энерготехнологии и ресурсосбережение. − 2008. − № 4. − С. 63 - 69.

4. Офіційний сайт Дніпропетровської обласної державної адміністрації – Дніпропетровська область, Новини регіону [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://adm.dp.ua/OBLADM/obldp.nsf/archive/

К содержанию

УДК 622:658.567.1

Галицына Анастасия Михайловна
аспирант,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
199106, г. Санкт-Петербург,
21-я линия, д. 2
Тел. (812) 321-14-84

Galitsyna Anastasia Mikhailovna
postgraduate,
National Mineral Resources University
(University of mines),
Tel. (812) 321-14-84

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ГРАНИТНЫХ ОТСЕВОВ

PROBLEMS OF GRANITE ELIMINATIONS USE AND PROCESSING

Аннотация:

В данной статье рассмотрены проблемы использования и переработки гранитных отсевов. Проанализированы характерные особенности рынка гранитного отсева. На основе проведенного исследования автором предлагается осуществлять переработку гранитного отсева с разделением на более мелкие фракции, используя для этих целей каскадно-гравитационный классификатор. Описывается принцип действия каскадно-гравитационного классификатора.

Ключевые слова: рациональное недропользование, гранитный отсев, фракционирование.

Abstract:

The problems of granite eliminations use and processing are considered In the article Characteristic features of granite eliminations market are analyzed. On the basis of the research conducted by the author,it is proposed to carry out processing of granite screenings dividing them into smaller fractions, using for these purposes cascade-gravity classifiers. The principle of cascade-gravity classifier operation is described.

Key words: rational subsurface use, granite eliminations, fractionation.

С развитием ресурсоемких технологий все большую важность приобретают проблемы рационального природопользования. Оно подразумевает достаточно полное использование добываемых природных ресурсов и, соответственно, уменьшение количества их потребления, обеспечение восстановления, а также полное использование отходов производства.

В области недропользования как части природопользования каждый из ресурсов недр требует всестороннего исследования для разработки оптимального комплексного метода освоения, включая процессы добычи, переработки и потребления. Стратегия разработки каждого месторождения должна соответствовать новой экономической системе природопользования, предполагающей рациональное комплексное освоение недр, выявление и учет особенностей, возможных областей и направлений использования ресурсов недр, в том числе многообразных отходов горнопромышленного комплекса – техногенных месторождений [1].

Необходимо учитывать обусловленность рационального природопользования не только поиском, разработкой и реализацией инновационных технических и технологических решений, но и методологической обоснованностью оценки экономической эффективности в конкретных социально-экономических условиях. Подобное инновационно-ориентированное стратегическое управление предприятием должно обеспечивать повышение эффективности производства и его устойчивое развитие, что актуально для всех российских товаропроизводителей, поскольку им приходится конкурировать на внутреннем и мировом рынках с высокоорганизованными производствами высокоразвитых стран.

Для эффективного развития промышленности строительных материалов необходимо комплексное использование добываемых природных ресурсов, в том числе от-

К содержанию

ходов (отсевов дробления щебня). Существующие технологии производства не позволяют снизить объемы выхода отсева, который в зависимости от того, какой фракции производится щебень, может составлять до 40 % от объема производимого товарного щебня, поэтому эффективное его использование является актуальной задачей.

Российские предприятия ориентированы на выпуск двух-трех фракций щебня и гравия и одной фракции песка. Однако некоторые отечественные и многие предприятия в развитых странах производят в несколько раз больше видов продукции. В российской промышленности строительных материалов в период наиболее интенсивного ведения строительных работ наблюдается дефицит железнодорожного транспорта. Перевозка такого материала, как отсевы, на большие расстояния нерациональна. Поэтому их можно рассматривать только как местное сырье.

В 2011 – 2012 гг. был отмечен устойчивый спрос на нерудные строительные материалы, в том числе на щебень. Также наблюдался активный рост производства щебня и отсева, что связано с ростом объемов производства строительных и дорожных работ в РФ.

Более половины объема производства отсевов дробления приходится на Северо-Западный и Центральный регионы. В Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) лидером по производству гранитных отсевов является Ленинградская область (включая г. Санкт-Петербург), удельный вес которой в общем объеме производства отсевов СЗФО составляет 48 %. Второе место по Северо-Западному федеральному округу занимает Республика Карелия (17 %), за ней следует Мурманская область (9 %), Калининградская, Вологодская и Новгородская области (5 – 6 %), Архангельская, Псковская, Республика Коми (3 – 4 %) (рис. 1). Крупнейшими производителями гранитного отсева в СЗФО и Центральном Федеральном округе (ЦФО) являются ЗАО «ЛСР – Базовые», «Павловскгранит» и ЗАО "Каменногорский комбинат нерудных материалов" (ПО "Ленстройматериалы").

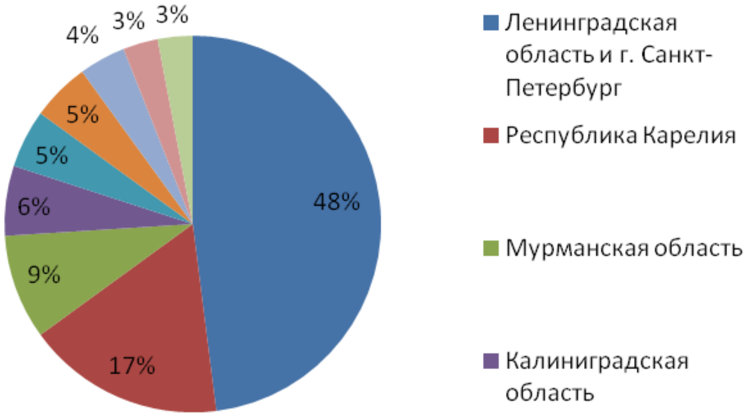


Рис. 1 – Производители гранитного отсева в СЗФО

Общий объем потребления отсева в РФ составляет более 16,3 млн т в год, в том числе гранитного отсева и крошки более 9 млн т в год. Наибольший видимый объем потребления отсева и крошки приходится на Орловскую, Ленинградскую и Московскую области (суммарно около 890 тыс. т в год).

Более 80 % импортных поставок отсева (в натуральном исчислении) производилось для предприятий Московской, Калужской, Брянской, Ленинградской и Орловской областей.

К содержанию

В целом по рынку нерудных строительных материалов было выявлено, что потенциальный спрос на песок фракций 0,16 – 2 мм может составить до 45 тыс. т в месяц; на крошку фракций 2 – 5 мм до 58 тыс. т в месяц.

Потенциальными потребителями отсева фракций 0,16 – 2 мм могут стать предприятия, производящие сухие строительные смеси (ССС), асфальтобетон, железобетонные изделия, в которых могут использовать этот отсев вместо строительного кварцевого песка. При этом стоимость отсева фракций 0,16 – 2 мм не должна существенно превышать стоимость строительного песка.

Потенциальными потребителями крошки фракций 2 – 5 мм могут стать производители антигололедных смесей, а также областные строительно-дорожные компании, которые отвечают за содержание дорог в регионе и готовы применять гранитный отсев в качестве антигололедной посыпки.

Для повышения конкурентоспособности цена на отсев фракций 0,16 – 2 мм должна соответствовать ценам на строительный песок. Средняя рыночная цена на строительный песок составляет 250 руб./т, или 650 руб./м^3. Неценовым преимуществом отсева фракций 0,16 – 2 мм является повышение качественных характеристик производимого на его основе бетона.

Цену на отсев фракций 2 – 5 мм определяем исходя из средних рыночных цен на данную фракцию, которая импортируется из Украины и Белоруссии в расфасованном виде по цене от 800 руб./т (таблица).

Продукты, получаемые в процессе переработки гранитного отсева 0 – 5 мм

Фракция	Потребители	Предполагаемый объем потребления	Расчетная цена
0,16 – 2 мм	Заводы по производству ССС, асфальтобетона, ЖБИ	45 тыс.т в мес	260 руб./т 680 руб./м^3
2 – 5 мм	Производство по изготовлению антигололедных смесей, ландшафтный дизайн	58 тыс.т в мес	450 руб./т. 1020 руб./м^3

Предприятия-поставщики отсева предлагают на рынке в СЗФО преимущественно отсев фракций 0 – 5 мм нефракционированный, что определяет его дешевизну (на уровне 70 – 110 руб./т без НДС, франко-склад производителя) и широкое применение в дорожном строительстве. В связи с этим можно сделать вывод о необходимости разработки мероприятий по использованию отсевов дробления, к которым относится фракция крупностью 0 – 5 мм.

Переработку отсевов горных пород можно проводить посредством разделения материала на фракции. Для этих целей используются каскадно-гравитационные классификаторы, позволяющие получать 2 – 4 класса продуктов узких фракций в диапазоне крупности 0 – 5(10) мм с производительностью от 1 до 60 т/ч [2].

Классифицирующие комплексы КГ основаны на принципе каскадно-гравитационной классификации материалов: разделении частиц в воздушном потоке по их крупности или плотности. Особенностью классифицирующих комплексов КГ является отсутствие сит и механических агрегатов рассева. Процесс классификации обеспечивается исключительно воздушными потоками и конфигурацией камер классификации. Классифицирующие комплексы КГ представляют собой последовательную технологическую систему классификации, основанную на модульных аппаратах, обеспечивающих высокие показатели работы, простоту эксплуатации, малую занимаемую площадь и энергоемкость. Комплексы практически не требуют обслуживания, отсутствуют системы смазки, фактический коэффициент использования оборудования может достигать 0,95.

К содержанию

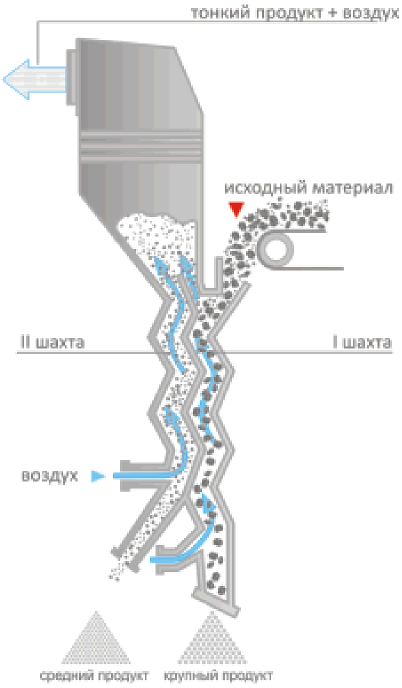


Рис. 2 – Технологическая схема классифицирующего комплекса КГ

Исходный продукт поступает в загрузочный бункер классификатора и подается в шахту I, где в восходящем воздушном потоке происходит его первичная классификация: отделение крупных (тяжелых) частиц, которые осаждаются и выгружаются через затвор в нижней части шахты (рис. 2). Более мелкие фракции поднимаются и перетекают в шахту II, где также происходит процесс разделения частиц по заданным диапазонам крупности (плотности): средний продукт опускается в низ шахты II и разгружается через затвор, мелкий продукт выносится через верхний патрубок классификатора вместе с воздухом в систему осаждения и аспирации [3].

Воздушные каскадно-гравитационные классификаторы КГ работают в замкнутом цикле по воздуху: воздух из системы осаждения возвращается в классификатор и частично после очистки в системе аспирации сбрасывается в атмосферу.

Переработка отсева дробления при помощи классифицирующего комплекса КГ позволяет получать:

- заполнители/щебни мелких классов 2 – 5 мм, используемые для верхнего слоя дорожного полотна;
- строительные пески (1 класса) 0,16 – 2 мм;
- минеральный наполнитель/муку 0 – 0,16 мм.

При сохранении заданного объема производства можно добиться снижения цеховой себестоимости и повышения эффективности. При том же объеме переработанной горной массы выпуск товарной продукции увеличивается. Это происходит за счет классификации отсева (который ранее складировался в отвалах).

Безотходное производство – современный, экологичный и выгодный подход к разработке месторождений полезных ископаемых. Современный уровень развития производства позволяет использовать новейшее оборудование для переработки отсевов дробления щебня.

Переработка путем производства фракционированного отсева с помощью каскадно-гравитационного классификатора решает следующие задачи.

Во-первых, переработка отсевов дает возможность не накапливать новые отвалы, то есть заниматься переработкой текущих отсевов.

Во-вторых, производство новой актуальной для современного рынка продукции позволяет получить дополнительную прибыль.

К содержанию

Литература

1. Григорьев А.В. Экологические аспекты развития / А.В. Григорьев, Э.Э. Шалль // Горный журнал. - 1999. - № 9. - С. 68 - 70.

2. Методические рекомендации по применению и обогащению отсевов дробления и разнопрочных каменных материалов для дорожного строительства / Министерство транспортного строительства. – М., 1987. – 105 с.

3. Официальный сайт ЗАО «Урал-Омега» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://uralomega.ru/products/classifying_complexes_kg.

УДК 630.612 : 631.433.2

Голубев Дмитрий Андреевич
инженер,
Дальневосточный
научно-исследовательский институт
лесного хозяйства
г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 158,
Тел. +7 9242246594
e-mail: poet.golubev@mail.ru

Крупская Людмила Тимофеевна
доктор биологических наук, профессор,
Заслуженный эколог РФ,
главный научный сотрудник
Дальневосточный научно-исследовательский
институт лесного хозяйства;
профессор кафедры экологии,
ресурсопользования и безопасности
жизнедеятельности
Тихоокеанский государственный университет
Тел. +7 9241067708,
E-mail: ecologyia2010@yandex.ru

Dmitri Andreevich Golubev
Federal Budget Institution "Far Eastern Research
Institute of Forestry (FBU" Dal NIILH "),
engineer
Khabarovsk, ul. Tihookeanskaya, 158
Tel. +7 9242246594
e-mail: poet.golubev@mail.ru

Krupskaya Lyudmila Timofeevna
Sc.D., Professor, Honored Russian ecologist
Federal Budget Institution "Far Eastern Research
Institute of Forestry (FBU" Dal NIILH "),
Chief Scientist
Pacific National University (PNU),
professor of ecology,
resource management and life safety
Tel. +7 9241067708
e-mail: ecologyia2010@yandex.ru

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ ЗЕМЕЛЬ В ДФО

ADVANCED TECHNOLOGIES OF RECLAMATION LANDS DISTURBED BY MINING IN the FEFA

Аннотация:

В статье рассмотрены перспективные технологии рекультивации нарушенных горными работами земель в ДФО. Обобщены результаты экспериментальных исследований в оранжерее и производственных условиях по изучению воспроизводства биологической продуктивности и воссоздания почвенного плодородия с использованием комплекса метаболического потенциала биологических объектов для обеспечения экологической и социальной их безопасности.

Ключевые слова: рекультивация, нарушенные земли, биоремедиация, биологическая продуктивность, отходы переработки минерального сырья

Abstract:

The article examines advanced technologies of reclamation lands dicturbed by mining operations in the of FEFA. The results of experimental studies in the greenhouse and production conditions for studying reproduction of biological productivity and soil fertility reconstruction using complex metabolic potential of biological objects to ensure environmental and social safety are generalized.

Keywords: reclamation, disturbed lands, bioremediation, biological productivity, wastes of mineral processing

По образному выражению академика В.И. Вернадского (1940), человечество превратилось в мощную геологическую силу, трансформирующую окружающую среду и преобразующую ландшафты. Известно, что освоение твердых полезных ископаемых способствует интенсивному загрязнению природной среды не только посредством химического загрязнения экосистем, но и физико-механического нарушения почвенно-растительного покрова. Особую опасность представляют техногенные системы (нарушенные земли, отвалы, дражные полигоны, хвостохранилища и др.). В связи с этим цель исследования состояла в изучении воспроизводства биологической продуктивности и воссоздания почвенного плодородия на нарушенных горными работами землях с использованием комплекса метаболического потенциала биологических объектов для обеспечения экологической и социальной их безопасности. Сформулированы следующие задачи: 1) проанализировать, обобщить и систематизировать существующие ре-

К содержанию

зультаты исследования в России и материалы патентного поиска по названной проблеме; 2) оценить влияние источников техногенного загрязнения на экосистемы; 3) провести экспериментальные исследования в оранжерее и производственных условиях по воспроизводству биологической продуктивности нарушенных хвостохранилищем ОАО «Солнечного ГОКа» земель с использованием смешанного корокомпоста из лесопромышленных отходов.

Объекты и методы исследования. Исследования проведены в течение 1988 – 2013 гг., объектом послужили техногенные системы. Эксперименты проведены в оранжерее ДальНИИЛХ и в производственных условиях. Методологической основой явилось учение академика В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере [1, 2] и основные положения, изложенные в программе и методике изучения техногенных биогеоценозов Б.П. Колесниковым и Л.В. Моториной [3].

Результаты исследования. В настоящее время уже пройден поисковый, начальный этап разработки вопросов восстановления продуктивности нарушенных земель и накоплен обширный фактический материал [1 – 8, 12, 14, 15, 17]. Однако необходима систематизация и обобщение этой информации для построения основ общей теории рекультивации техногенных ландшафтов. Целенаправленное воспроизводство продуктивности техногенных ландшафтов особенно актуально для юга Дальнего Востока, где ощущается дефицит плодородных почв, мощность которых не превышает 10 см. Однако здесь темпы рекультивации крайне низки (0,001 % от всей площади нарушения) [5 и др.].

Анализируя литературные данные [2 – 9, 12, 14, 17 и др.], следует сказать, что практически отсутствуют публикации научно-исследовательских работ, содержащие конструктивные критические оценки существующей рекультивационной практики и практического применения альтернативных методов и технологий рекультивации на территории рассматриваемого региона. В настоящее время применяемый в производственной практике термин "рекультивация", на наш взгляд, не слишком корректен. Согласно межгосударственному стандарту, соответствующему СТСЭВ 3848-82 (ГОСТ 17.5.1.01-83) [10] (дата введения 1984-07-01), рекультивация – комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества. Однако в этом определении место почве как фундаменту, базису любой наземной экосистемы, выполняющей биосферные функции, не находится. И не случайно, на рекультивируемых площадях в ДФО (где проведен технический этап, предусматривающий только планировку) создается, как правило, растительный покров с низкой продуктивностью, не обеспечивающий экологическую безопасность нарушенных в процессе освоения минерального сырья земель. Недостаточная проработанность методологии обоснования и принятия решений в области природоохранной деятельности предприятий минерально-сырьевого комплекса в ДФО является причиной невозможности обеспечения должного качества окружающей среды здесь, в том числе рекультивационных работ. Тем более, что в исследуемом регионе не проводится биологический этап рекультивации. И не случайно продуктивность восстановленных земель в целом значительно ниже, чем была до их нарушения.

Авторы согласны с мнением И.М. Гаджиева, В.А. Андроханова [11], что только почвенные параметры с заданными свойствами позволяют добиться определенного уровня восстановления почвенно-экологических функций. Анализ литературных источников [3 – 17 и др.] и современной экологической ситуации в горнопромышленных районах ДФО позволяет утверждать необходимость проведения комплексного воссоздания нарушенных экосистем с учетом биоклиматических особенностей региона, экологических, почвенных и хозяйственных параметров. На этой основе можно предложить следующее определение рекультивации земель: это комплекс мероприятий, направленный на улучшение ландшафта, включающий восстановление всех его абиотических, в том числе почвенно-экологических, функций, а также биотических компо-

К содержанию

нентов, нарушенных горными работами, создание на их месте биологически продуктивных и рационально организованных элементов культурных антропогенных биогеоценозов.

Изучение и анализ международного правового опыта развитых промышленных стран показывает, что проблема рекультивации решается успешно [11 и др.].

В южной части ДФО освоением твердых полезных ископаемых нарушено более 750 000 га продуктивных земель, оказывающих негативное влияние на среду обитания. Наиболее актуальными для ДФО являются исследования по рекультивации техногенных образований с использованием биоремедиации, т.е. комплекса методов с использованием метаболического потенциала биологических объектов – растений, грибов, микроорганизмов, насекомых, червей и других организмов [12]. Ее преимущества заключаются в относительно низкой себестоимости проводимых работ по сравнению с традиционными методами и безопасностью для окружающей среды, а также возможностью экстракции ценных веществ из зеленой массы растений (Ni, Au, Cu) и возможностью мониторинга процесса очистки почвогрунтов от тяжелых металлов.

При оценке отходов горнорудного производства как источника негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека на примере хвостохранилища бывшего Солнечного ГОКа учитывался их минеральный и вещественный состав. Исследованиями установлено очень высокое содержание сульфидной серы, общий объем которой в хвостохранилище составляет 21 000 т, при среднем ее содержании 2,16 %. Характерная геохимическая особенность «хвостов» – это значительные концентрации в них токсичных химических элементов: меди (свыше 4 000 г/т), мышьяка (более 2 000 г/т), свинца (около 1500 г/т) и др. Кратность превышения максимальных концентраций загрязняющих веществ колебалась от 16 до 80 раз. Ранее полученными результатами показано, что загрязнение воздушного бассейна отходами обогащения, например в поселке Солнечный, по аэрозолям сульфат-ионов, токсичной пыли, тяжелым металлам относится к экстремально высокому уровню [9, 15, 17 и др.].

Микроэлементный состав снежного покрова как индикатор техногенного загрязнения представлен в табл. 1. Установлено превышение не только фоновых содержаний тяжелых токсичных металлов (Pb, Mn, Cu, Cr, Co, Ni, Cd) в почвах, водах и растительности, но и ПДК. Суммарный коэффициент загрязнения в районе исследования составлял более 140. Наши исследования свидетельствуют о цитогенетическом изменении в клетках растений-биоиндикаторов (тест-системы «Стерильность пыльцы», например, или «Ростовой тест»). Выявлена прямая корреляционная зависимость между концентрацией подвижных форм тяжелых металлов (ТМ) в почвах зоны влияния отходов переработки минерального сырья и стерильностью пыльцы. При увеличении техногенного загрязнения ТМ она возрастает и достигает 22 %. Состав микрофлоры, структура и функционирование микробоценозов нарушены.

Таблица 1

Микроэлементный состав снежного покрова (водорастворимая фракция), отобранного в зоне влияния хвостохранилища ЦОФ ОАО «Солнечный ГОК»

Показатель	Cu	Pb	Cd	Mn	Ni	Co	Cr	Sb
$C_{ср}$, мг/дм^3	0,0205	0,0028	0.0075	0,038	0,004	0,0025	0,0075	0,012
ПДК	0,001	0,006	0,005	0,01	0,01	0,01	0,02	-

Ранее выполненными исследованиями установлено, что загрязнение экосистем, обусловленное миграций тяжелых металлов в почвенном профиле, вызывает ухудшение здоровья, особенно детей и пожилых людей, в горняцком поселке Солнечный Хабаровского края. На основе изучения архивных данных и статистической информации о

К содержанию

заболеваемости в исследуемом районе установлено, что загрязнение токсичными элементами объектов окружающей среды увеличивает число заболеваний органов дыхания, нервной системы, системы кровообращения, пищеварения. Важное значение при индикации экологического состояния территории имеют онкологические заболевания, что может быть обусловлено присутствием в районе исследования канцерогенных элементов – As, Sb, Hg. Особого внимания требует детское население, поскольку дети наиболее уязвимы и чувствительны к действию химических агентов вообще (рис. 1) [8, 15]. В связи с негативным влиянием отходов переработки минерального сырья на среду обитания возникает необходимость обеспечения их экологической безопасности.

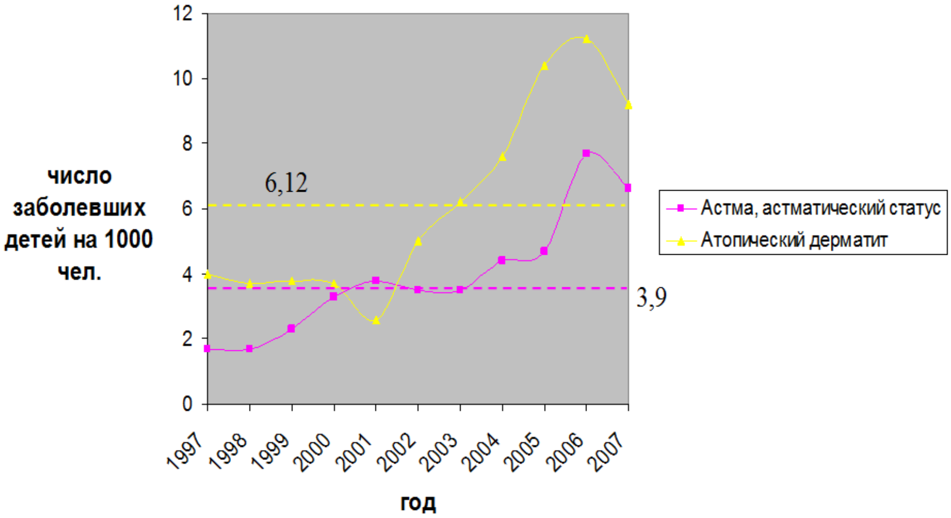


Рис. 1 – Распространенность заболеваний астмой и атопическим дерматитом (дети до 14 лет)

Нами впервые в 1988 г. для условий ДФО совместно с сотрудниками института ВНИИОСуголь (г. Пермь) опробована технология ускоренной рекультивации нарушенных горными работами земель путем бактеризации семян бобово-злаковой травосмеси (клевер белый + тимофеевка луговая) бактериальной культурой почвенных микроорганизмов и полива гуминовыми препаратами на площади более 400 га [16 и др.]. Исследования показали [5], что микробные ассоциации на отвалах 10 – 12-летнего возраста близки по составу к таковым в естественных почвах. В «молодых» почвах 25-летних отвалов, особенно в подстилке, они практически не отличаются от зональных почв, например, приуроченных к Херначинскому, Кербинскому и другим приискам.

Сущность предлагаемой нами технологии заключается в проведении на техническом этапе разравнивания и планировки поверхности отвалов, рыхлении поверхности дисковой бороной на глубину корнеобитаемого слоя растений, внесении угольных отходов, посеве семян бобово-злаковой травосмеси (клевер белый + тимофеевка луговая), бактеризация которых осуществлена бактериальной культурой почвенных микроорганизмов, и поливе посевов гуминовыми препаратами.

В течение 2011 – 2013 гг. проведена ревизия рекультивированных в 1988 г. площадей в бывшем Кербинском прииске и действующем Корфовском каменном карьере. Установлено, что здесь сформировались сложные многовидовые сообщества. Господствующее положение занимает древесная растительность с сомкнутостью до 0,8 – 0,9. Практически завершилось формирование фитоценоза по ярусности и его сомкнутости. Доминирует типично вторичная таежная растительность, под пологом которой возобновляются хвойные породы. Проективное покрытие составляет до 80 %. Флористический состав более разноообразный на рекультивированных участках по сравнению с нерекультивированными. Рекультивация по предлагаемой технологии способ-

К содержанию

ствовала восстановлению почвенно-экологических функций, что позволяет эффективно развиваться всем компонентам нарушенных экосистем [15 – 16].

Перспективной является предложенная нами технология рекультивации хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы переработки минерального сырья, с использованием смешанного корокомпоста из лесопромышленных отходов, новизна которой подтверждена патентом РФ от 10 июля 2013 г. Сущность ее состоит во внесении в субстрат (токсичные отходы) оптимальной дозы смешанного корокомпоста, которая подобрана экспериментальным путем исходя из санитарно-экологических свойств субстрата и достижения наивысшей продуктивности создаваемого фитоценоза на поверхности хвостохранилища. Для этого смешанный корокомпост из измельченной коры ели, лиственницы и березы в разном количестве вносился на поверхность отходов. Наилучшие результаты (по биомассе) получены в варианте с внесением смешанного корокомпоста в количестве 30 % под бобово-злаковую травосмесь (урожайность составила 218 ц/га) по сравнению с другими вариантами (например, 10 и 20 %), что хорошо видно на рис.2. В контроле всходы отсутствовали.

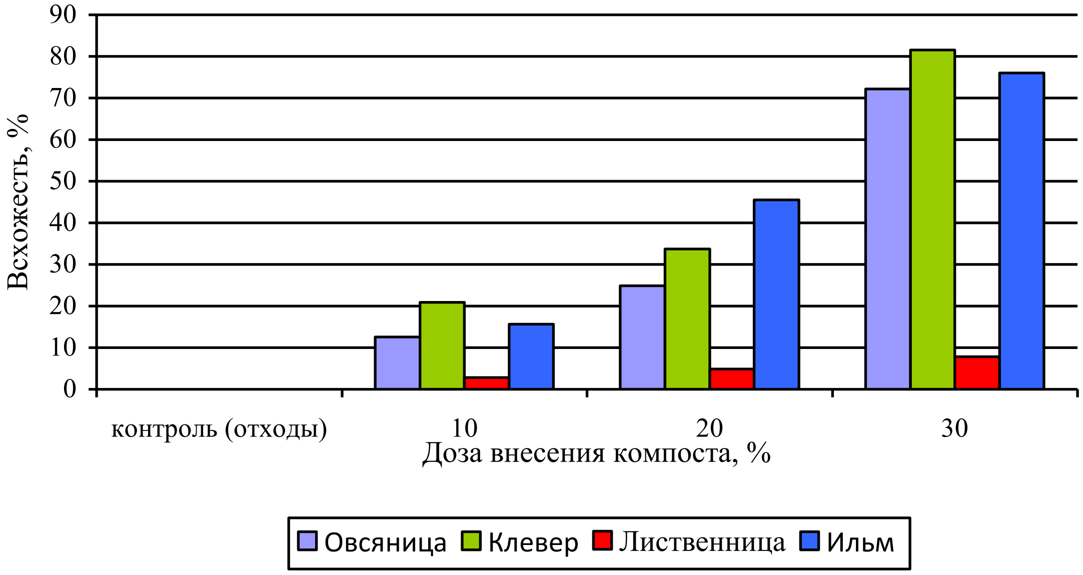


Рис. 2 – Всхожесть растений

В варианте с внесением 30 % смешанного корокомпоста содержится достаточное количество энергетических веществ (до 40 % органического материала) и питательных веществ, что способствовало ускоренной биологической переработке. Произошло связывание тяжелых металлов токсичных отходов углеродом органического вещества и иммобилизация основного их количества до неопасных пределов. Предлагаемая технология является более эффективной, так как позволяет увеличить продуктивность искусственного фитоценоза и одновременно улучшить санитарно-экологические свойства субстрата за счет изменений в нужных направлениях рецептуры смешанного корокомпоста. Опыт снижения токсичности отходов горнорудного производства с помощью смешанного корокомпоста является весьма перспективным. Он позволяет обеспечить благоприятные условия для восстановления лесной растительности на территориях, нарушенных горнодобывающими предприятиями, используя доступные компоненты, такие как кора хвойных и лиственных древесных пород, которые являются лесопромышленными отходами.

Экономическая эффективность предлагаемой технологии составляет около 50 тысяч рублей с одного гектара.

Рекомендации находятся в стадии разработки.

К содержанию

Использование биоремедиации в процессе проведения рекультивации нарушенных земель, загрязненных токсичными тяжелыми металлами, является наиболее предпочтительным по сравнению с традиционной технологией вследствие своей экологической безопасности, низкой себестоимости работ и достаточно высокой эффективности. Поэтому разработка и внедрение в практику эффективных технологий биоремедиации почвогрунтов, загрязненных ТМ, крайне актуальна.

В марте 2013 г. разработка была представлена на Международной технической ярмарке в Санкт-Петербурге и удостоена золотой медали и диплома первой степени за лучший инновационный проект и лучшую научно-техническую разработку 2013 года.

Литература

1. Вернадский В.И. Живое вещество / В.И. Вернадский. - М.: Наука, 1978. - 357 с.
2. Вернадский В.И. Биогеохимические очерки.1922-1932 гг. / В.И. Вернадский. - М.: Изд-во АН СССР, 1940. – 250 с.
3. Колесников Б.П. Методы изучения биогеоценозов в техногенных ландшафтах / Б.П. Колесников, Л.В. Моторина // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. – М.: Наука, 1978. – С. 5 - 21.
4. Колесников В.П. Исследования по рекультивации техногенных ландшафтов промышленных отвалов на Урале / Б.П. Колесников и др. // Рекультивация ландшафтов, нарушенных промышленной деятельностью: докл. VI междунар. симпоз. - М., 1976. - С. 17 - 23.
5. Крупская Л.Т. Охрана и рациональное использование земель на горных предприятиях Приамурья и Приморья / Л.Т. Крупская. – Хабаровск: Приамурское геогр. общество, 1992. – 175 с.
6. Елпатьевская В.П. Роль горнодобывающего производства в трансформации окружающей среды (юг Дальнего Востока) / В.П. Елпатьевская // География и природные ресурсы. - 1996. - № 3. - С. 53 - 62.
7. Галченко Ю.П. Основные положения концепции экологической безопасности горного производства в условиях устойчивого развития природы и общества / Ю.П. Галченко // Научные и практические аспекты добычи цветных и благородных металлов: доклад международного совещания. - Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2000. - Т. 2. - С. 393 - 400.
8. Зверева В.П. Горнопромышленная техногенная система Дальнегорского района Дальнего Востока и ее воздействие на экосферу / В.П. Зверева, Н.В. Зарубина // Геоэкология, инженерная геология. гидрогеология. Геокриология. – 2008. - № 6. - С. 500 – 505.
9. Растанина Н.К. О роли экологических факторов в изучении здоровья населения горняцких поселков на юге Дальнего Востока / Н.К. Растанина, Л.Т. Крупская // Экология и промышленность России. - 2008. - № 12. - С. 56 – 57.
10. Межгосударственный стандарт СТСЭВ 3848-82 (ГОСТ 17.5.1.01-83). Охрана природы: рекультивация земель. Термины и определения. – М., 1983. – 9 с.
11. Гаджиев И.М. Стратегия и перспективы решения проблем рекультивации нарушенных земель / И.М. Гаджиев, В.М. Курачев, В.А. Андроханов. – Новосибирск: ЦЭРИС, 2001.
12. Kalin M. Ecologiical engineering: evidence of an able concept / M. Kalin. – Fudam. and Appl. Biohydromet., Proc. 6 Int. Symp. Biohydromet. - Vancouver, Aug. 21-24. - 1985. – Amsterddame, 1986. – P. 489 - 490.
13. Микроэлементы в окружающей среде. Биогеохимия, биотехнология и биоремедиация / ред. М.Н.Прасад, К.С.Саджван. - М.: Изд-во ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 816 с.

К содержанию

14. Ивашов П.В. Биогеохимические и экологические исследования природных и техногенных экосистем Дальнего Востока / отв. ред. П.В. Ивашов. - Владивосток, 1996. – 191 с.

15. Крупская Л.Т. Оценка риска для здоровья населения, связанного с загрязнением атмосферного воздуха в районе хвостохранилища ЦОФ Солнечного ГОКа / Л.Т.Крупская, Н.К.Растанина // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск. – 2007. – ОВ № 15. - С. 318 – 323.

16. Красавин А.П. Временная инструкция по применению технологии ускоренной рекультивации нарушенных земель без нанесения плодородного слоя почвы с использованием препарата гуминовых кислот и активных штаммов микроорганизмов в Приморье и Приамурье / А.П.Красавин, А.Н.Хорошевич, Л.Т.Крупская, Е.В.Новикова. - Владивосток: Дальнаука, 1990. – 12 с.

17. Мамаев Ю.А. Обоснование общей модели рекультивации поверхности хвостохранилища ЦОФ Солнечного ГОКа ООО «Востоколово») / Ю.А.Мамаев, Л.Т. Крупская, Б.Г. Саксин // Горный информациаонно-аналитический бюллетень. - 2007. - № 1. - С. 187 - 194.

К содержанию

УДК 332.1:330.15 (470.1)

Кузнецов Дмитрий Сергеевич
младший научный сотрудник,
Институт геологии Коми научного центра
Уральского отделения
Российской академии наук,
167982 Сыктывкар, ГСП-2,
Первомайская, 54,
e-mail: kuznetsov@geo.komisc.ru

ОБЩЕСТВЕННАЯ ЦЕННОСТЬ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ОСВОЕНИЯ

Аннотация:

Рассмотрена общественная ценность минерально-сырьевых ресурсов Республики Коми. Показано значение горнорудной отрасли в формировании внутреннего регионального продукта, налоговых поступлений. Приведены результаты стоимостной оценки нефти, газа, угля, бокситов и других полезных ископаемых в недрах. Выделены основные минерально-сырьевые узлы, представляющие собой центры экономического роста.

Ключевые слова: Республика Коми, нефть, газ, уголь, общественная ценность, минерально-сырьевые узлы.

Kuznetsov Dmitry Sergeevich
The Institute of Geology, Komi Scientific Center, UB RAS;
Junior Researcher;
167982, Syktyvkar, GSP-2,
Pervomayskaya str., 54;
e-mail: kuznetsov@geo.komisc.ru

THE SOCIAL VALUE OF MINERAL RESOURCES OF THE KOMI REPUBLIC AND PROSPECTS FOR THEIR DEVELOPING

Abstracts:

The social significance of Komi Republic mineral resources is considered. The importance of the mining industry in the formation of domestic regional product and tax revenues is shown. The results of the valuation of oil, gas, coal, bauxite, and other mineral resources are given. Major mineral resources areas representing the centers of economic growth were distinguished.

Key words: Komi Republic, oil, gas, coal, social value, mineral resources areas.

Значительная часть минерально-сырьевых ресурсов сосредоточена в пределах северных территорий. Проблемы, приоритеты, формы освоения этих территорий обсуждаются в течение многих лет [1 – 4 и др.]. Республика Коми характеризуется значительным минерально-сырьевым потенциалом [5 – 7 и др.]. В настоящее время разрабатываются месторождения нефти, газа, угля, бокситов, строительных материалов. Вместе с этим существует целый ряд проблем, касающихся прироста запасов, поиска новых месторождений и вовлечения в хозяйственный оборот уже разведанных месторождений целого ряда полезных ископаемых.

Ситуация осложняется особенностями, характерными для северных территорий: суровость климата, низкая плотность населения, неразвитость инфраструктуры, в частности транспортной, повышенные расходы на производство, с чем сталкивается каждый инвестор в ходе своей деятельности. Все перечисленные особенности выражаются в дополнительных расходах, напрямую влияя на величину экономической эффективности и вынуждая инвесторов снижать издержки всеми доступными способами. Итогом является либо потребительское отношение к территориям, характеризующееся неполным изъятием полезных компонентов, либо отказ от реализации проектов. В результате мы имеем территории с изъятыми высокорентабельными полезными ископаемыми, проблемы экологического характера, высвобожденные трудовые ресурсы.

Процесс освоения территорий можно определить как систему отношений между субъектами инвестиционных процессов, направленных на достижение некоторых ре-

К содержанию

зультатов. Субъекты могут быть подразделены на 3 группы, каждая из которых характеризуется своими собственными целями в рамках экономических процессов:

инвестор - частный или государственный капитал. Ожидает получения прибыли на вложенные им средства по определенной ставке доходности;

регион как общественный институт. Цель его может быть сформулирована как создание среды, способствующей привлечению и наращиванию ресурсной базы;

население характеризуется стремлением к стабилизации своего социального положения, однако данная цель весьма разноплановая и заслуживает отдельного исследования.

Таким образом, результатом освоения территории может быть эффект коммерческий – интересы инвестора и общественный – интересы региона (сюда же в усредненной форме включаются интересы населения). Под общественным эффектом будем понимать процессы способствующие развитию базы региональных ресурсов, вовлекаемых в хозяйственную деятельность, при этом необходимо выделение ведущей отрасли региональной экономики для оценки динамики развития ресурсов, востребованных именно ею. По нашему мнению, данную отрасль целесообразно выделять по ряду критериев: объем ее в валовом региональном продукте, численность вовлеченных трудовых ресурсов, объем налоговых поступлений, обеспечиваемых отраслью в бюджет региона.

В структуре валового регионального продукта Республики Коми (РК) добыча полезных ископаемых составляет около 35 % (рис. 1).

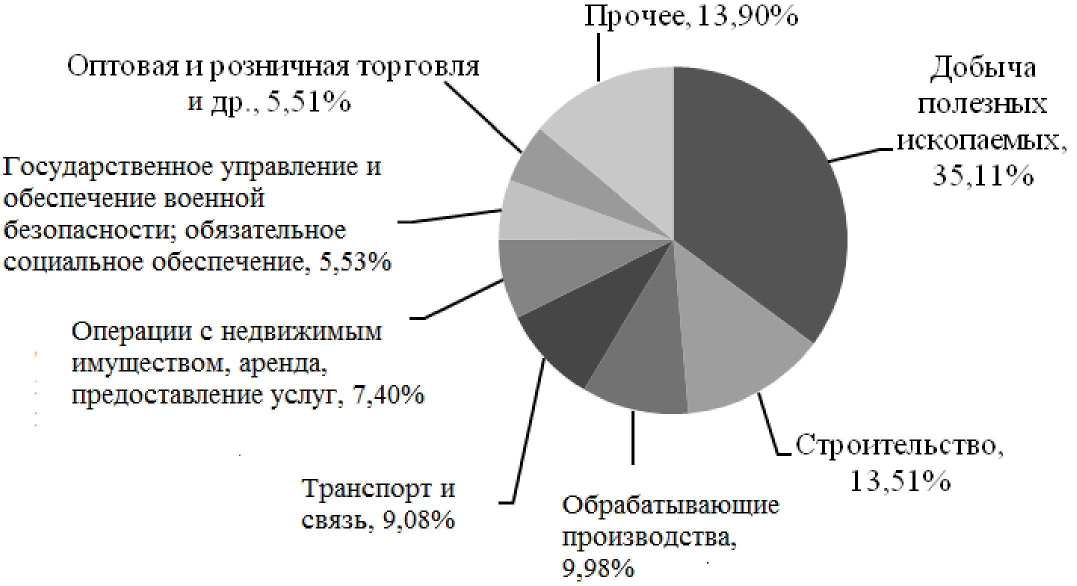


Рис. 1 – Структура валового регионального продукта Республики Коми в 2011 г. по видам экономической деятельности

Большое значение имеют налоговые отчисления от добычи полезных ископаемых, перечисляемые в федеральный и республиканский бюджеты. В 2012 г. в федеральный бюджет перечислено 51877 млн руб. В основном это налоги на добычу нефти и газа (46992 млн руб.) и, в меньшей степени, угля (4442 млн руб.). В республиканский бюджет перечислено 381 млн руб. Важную роль в формировании республиканского бюджета, конечно, играют другие налоговые отчисления, производящиеся добывающими предприятиями, в частности, налоги на прибыль и имущество организаций, на совокупный доход. На рис. 2 показана структура налогов, уплаченных в Республике Коми в 2012 г. в бюджеты всех уровней. Налог на добычу полезных ископаемых составляет 43 % и значительно превосходит другие виды налогов.

К содержанию

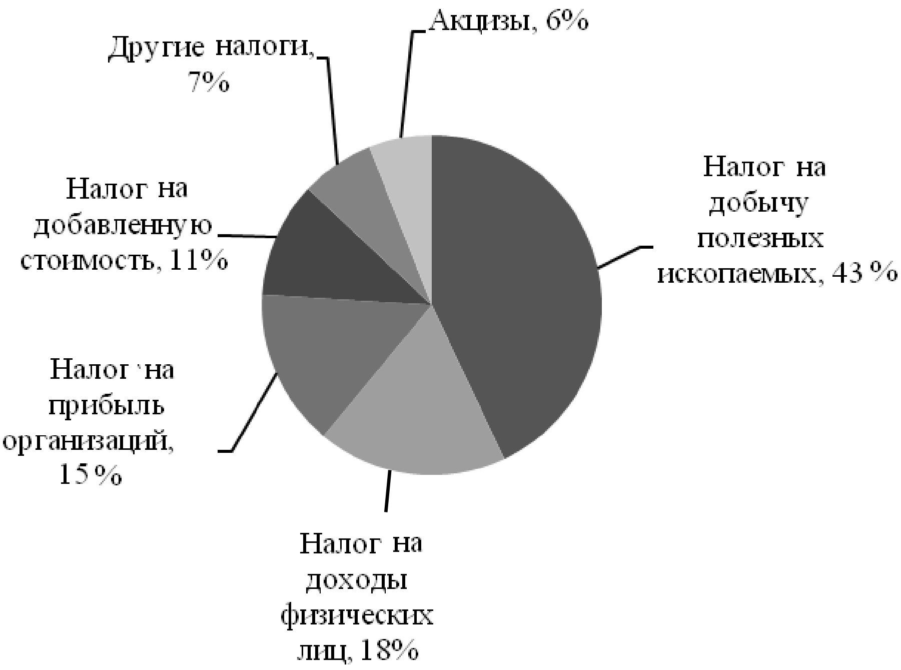


Рис. 2 – Структура налоговых поступлений (республиканский и федеральный бюджеты), уплаченных в Республике Коми в 2012 г.

Среднесписочная численность работников РК в последние годы колеблется в пределах 382,9 – 398,7 тыс. чел., занятых непосредственно в области добычи полезных ископаемых 25,5 – 32,5 тыс. чел., что составляет около 7 – 8 %. При этом количество работников, косвенно связанных с добычей полезных ископаемых, значительно выше. Суммарно наиболее многочисленными являются предприятия, занимающиеся добычей нефти и газа, предоставлением услуг в этой области, несколько ниже количество занятых на угледобывающих предприятиях.

Среднемесячная заработная плата работников добывающих предприятий, особенно предприятий нефтегазового комплекса, превышает среднюю заработную плату в регионе в 1,5 – 2 раза. Учитывая большое количество работников, прямо или косвенно занятых в горнорудной отрасли, довольно высоким оказывается налог на доходы физических лиц, отчисляемый в республиканский бюджет.

В табл. 1 представлены результаты стоимостной оценки минерально-сырьевых ресурсов, находящихся в недрах Республики Коми, выполненной нами в соответствии с существующими методическими разработками по трем категориям: богатство недр (НБН), востребованное богатство недр (ВНБН) и минерально-сырьевой потенциал (МСПБН) [8]. Согласно полученным данным, суммарная стоимость запасов различных полезных ископаемых в недрах (НБН) составляет 23452 млрд руб. Из них наибольшую стоимость имеют запасы нефти и газа, далее следуют уголь, каменная соль, титан, редкие и редкоземельные металлы, бокситы, золото и др. К числу востребованных полезных ископаемых, находящихся в распределенном фонде недр, относятся нефть, газ, уголь, бокситы. Суммарная стоимость востребованных запасов составляет 13878 млрд руб.

Степень востребованности запасов нефти составляет 91 %, газа 75 %, бокситов 61 %. Востребованность запасов угля по сравнению с нефтью и газом относительно небольшая (23 %). Условно востребованными можно считать титановые, марганцевые руды, золото (месторождения находятся в распределенном фонде недр, но добычные работы не проводятся). Не востребованы ранее разрабатывавшиеся месторождения каменной соли и баритов, хотя при благоприятной рыночной конъюнктуре добычные работы мо-

К содержанию

гут быть возобновлены. К числу невостребованных относятся также ванадий, редкие и редкоземельные металлы. В среднем востребованность запасов полезных ископаемых региона составляет 59 %.

Таблица 1

Стоимостная оценка основных видов минерально-сырьевых ресурсов в недрах Республики Коми, млрд руб.

Полезные ископаемые	ВНБН	НБН	МСПБН	Степень востребованности, %	Степень разведанности, %
Нефть	11487	12596	23963	91	53
Газ	335	448	733	75	61
Уголь	1784	7848	41924	23	19
Титан	191*	666	1149	29	58
Ванадий	0	14,8	14,8	0	100
Марганцевые руды	1,9*	1,9	9,8	100	19
Железные руды	0	0	8,9	0	0
Хромовые руды	0	0	0,5	0	0
Бокситы	75	111	189	66	59
Медь	0	0	28,8	0	0
Свинец	0	0	8,7	0	0
Цинк	0	0	0,3	0	0
Молибден	0	0	10	0	0
Вольфрам	0	0	4,4	0	0
Мышьяк	0	0	0,2	0	0
Золото	2,3*	50	288	0,05	17
Серебро	0	0	7	0	0
Барит	0	9	62	0	15
Соль натриевая		1702	3265	0	52
Соль калийно-магниевая	0	0	3295	0	0
Цеолиты	0	0	1364	0	0
Фосфориты	0	0	30	0	0
Песок стекольный	1,9*	5,7	10	33	57
Итого	13878	23452	76365	59	31

Примечание:

ВНБН – востребованное национальное богатство недр: запасы полезных ископаемых (категории А, В, C_1 ,C_2), находящиеся в распределенном фонде недр; НБН –национальное богатство недр: запасы полезных ископаемых (категории А, В, C_1 ,C_2); МСПБН – минерально-сырьевой потенциал: запасы и ресурсы (категории Р1 и Р2) полезных ископаемых. Знаком * отмечены условно востребованные полезные ископаемые, находящиеся в распределенном фонде недр, но в настоящее время не добывающиеся. Степень востребованности запасов и степень разведанности перспективных площадей — относительные показатели, представляющие собой, соответственно, долю востребованных запасов в общем количестве запасов, сконцентрированных на территории, и долю запасов категорий А, В, C_1, C_2 в общем количестве ресурсов и запасов территории. В случае прироста ресурсной базы в ходе геологоразведочных работ, данные показатели должны быть скорректированы.

Суммарная стоимость запасов и ресурсов полезных ископаемых, отражающая минерально-сырьевой потенциал региона, значительно выше, чем стоимость балансовых запасов. Обращает на себя внимание то, что на первое место здесь выходит уголь, ресурсы и запасы которого в стоимостном выражении намного превышают ресурсы и запасы нефти и газа. Степень разведанности перспективных площадей в среднем по различным видам полезных составляет 31 %. Особого внимания заслуживают месторождения руд с комплексным характером. В частности, в бокситах Вежаю-Ворыквинской группы месторождений стоимостная доля невостребованных ванадия и галлия составляет 18 %.

В связи с проблемами освоения минерально-сырьевых ресурсов большой интерес представляет геолого-экономическое районирование региона, выявление пространственных сочетаний различных полезных ископаемых. Нами выделены основные минерально-сырьевые узлы, представляющие собой локальные площади с близко расположенными месторождениями полезных ископаемых, действующими добывающими и перерабытывающими предприятиями (рис. 3). По степени освоенности их можно разделить на промышленно развитые, частично развитые и потенциально промышленные, а по разнообразию минерально-сырьевых ресурсов – на простые (моносырьевые, например, нефтяные или угольные) и сложные, или комплексные, в пределах которых сосредоточены месторождения различных полезных ископаемых (табл. 2).

К промышленно развитым нами отнесены узлы с разрабатывающимися месторождениями полезных ископаемых. Прежде всего это нефтегазовые узлы: Усинский, Печорский, Ухтинский, Вуктыльский. Основным из них является Усинский узел, на долю которого приходится около 65% от общего объема добываемой в республике нефти. Особое значение имеет Ухтинский узел. В его пределах имеются нефтяные месторождения, предприятия нефте- и газопереработки. Также хорошо известно Ярегское месторождение, являющееся комплексным нефте-титановым, по запасам титана относящееся к крупнейшим в России.

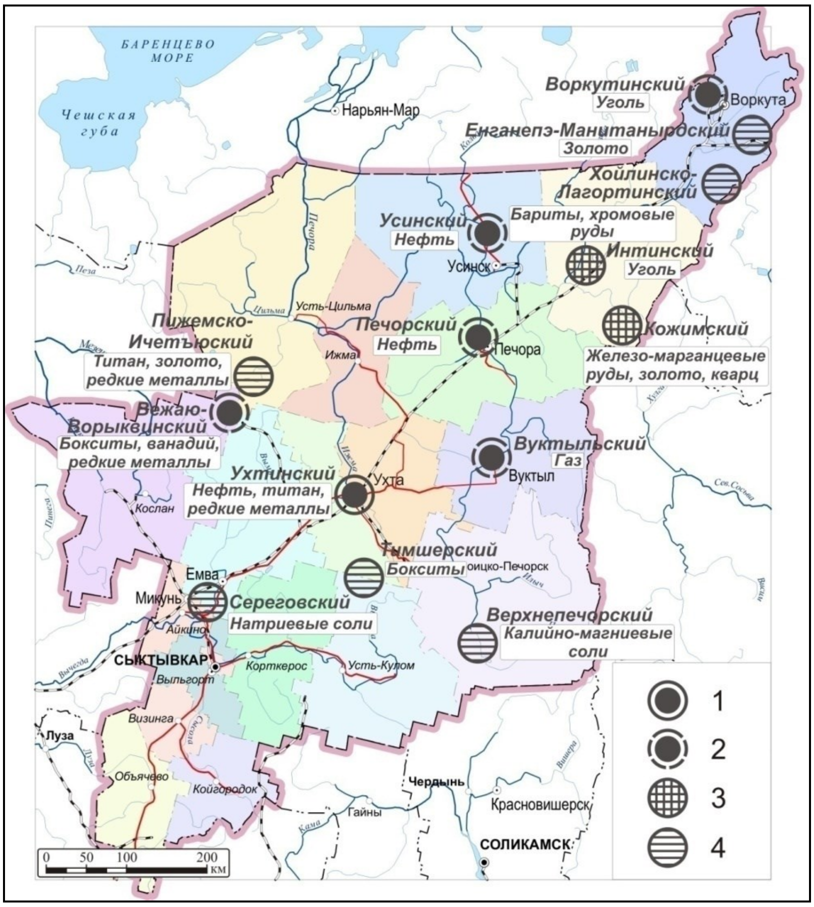


Рис. 3 – Основные минерально-сырьевые узлы Республики Коми:

1 – промышленно развитые (добыча и переработка полезных ископаемых),
2 – промышленно развитые (добыча полезных ископаемых),
3 – частично промышленно развитые, *4* – потенциально промышленные

К содержанию

Таблица 2

Основные минерально-сырьевые узлы Республики Коми

Минерально-сырьевой узел	Административный район	Полезные ископаемые	Месторождения, проявления
Усинский	Усинский	Нефть	Усинское, Возейское, Верхне-Возейское и др.
Вуктыльский	Вуктыльский	Газ	Вуктыльское
Ухтинский	Ухтинский	Нефть, титановые руды, редкие и редкоземельные металлы	Ярегское, Пашнинское, Западно-Тэбукское и др.
Печорский	Печорский	Нефть	Кыртаельское, Восточно-Сотчемью-Талыйюское
Ворыквинский	Княжпогостский	Бокситы, ванадий, галлий	Ворыквинская группа месторождений
Пижемско-Ичетъюский	Ухтинский	Титан, золото, редкоземельные металлы	Пижемское, Ичет-Ю и др.
Южнотиманский	Устькуломский	Бокситы, сера	Вольская группа месторождений, Дозмерское
Воркутинский	Воркутинский	Уголь	Воркутское Воргашорское и др.
Енганепэйско-Манитанырдский	Воркутинский	Золото, каолинит-кварцевое сырье, медные руды	Нияюское, Нияхойское, Ния, Саурипейское
Хойлинско-Лагортинский	Воркутинский	Бариты, хромовые руды, медные руды	Хойлинское, Кечпельское, Малюдвожское и др.
Интинский	Интинский	Уголь	Интинское, Кожимское и др.
Кожимский	Интинский	Марганцевые руды, жильный кварц, горный хрусталь, золото, медные и свинцово-цинковые руды	Парнокское, Желанное, Таврота, Чудное, Косьюнское, Кожимское и др.
Вычегодский	Княжпогостский	Соль натриевая, кварцевые пески	Сереговское, Чернокурка
Верхнепечорский	Троицко-Печорский	Соль калийно-магниевая	Верхнепечорская площадь
Торговский	Вуктыльский	Вольфрам-молибден-висмутовые руды	Торговское

Промышленно развитыми являются Воркутинский и Интинский узлы, характеризующиеся угольной специализацией. Большое значение имеет Ворыквинский узел на Среднем Тимане, включающий несколько бокситовых месторождений, некоторые из которых разрабатываются. К частично развитым относятся Кожимский (железомарганцевые руды, медные руды, золото, жильный кварц) и Хойлинско-Лагортинский (бариты, хромовые руды) узлы.

Кроме перечисленных, можно выделить еще целый ряд потенциально промышленных минерально-сырьевых узлов: Енганэпейско-Манитанырдский (золото), Пижемско-Ичетъюский (титановые руды, золото, редкоземельные металлы, алмазы), Кыввожский (золото), Торговский (вольфрам – молибден – висмут), Южнотиманский

К содержанию

(бокситы), Верхнепечорский (калийные и калийно-магниевые соли) и др. В Удорском, Сысольском, Кайгородском районах имеются месторождения горючих сланцев.

В перспективе планируется реализация ряда крупных инновационных проектов, к которым относится создание Сосногорского боксито-глиноземного комплекса, Ярегского горно-химического комплекса, возобновление добычных работ на Сереговском месторождении каменной соли, Хойлинском месторождении баритов, освоение Усинского и Сейдинского угольных месторождений, завершение строительства системы магистральных газопроводов Бованенкова – Ухта – Торжок.

Таким образом, добывающий сектор является базовым в Республике Коми и несет в себе огромный еще не реализованный потенциал общественной ценности, представляющей собой совокупность ресурсов, обеспечивающих устойчивость производственных процессов в экономике региона. Однако в настоящее время численность населения республики, в том числе в промышленных районах, характеризуется тенденцией к сокращению. Слабо развита переработка полезных ископаемых, основные фонды характеризуются достаточно высокой степенью износа.

На наш взгляд, необходимо уделить особое внимание формированию региональной промышленной политики, включающей планы освоения территорий на средне- и долгосрочную перспективу и учитывающей необходимость рационального недропользования (в том числе пространственное сочетание различных полезных ископаемых). Взаимодействие предприятий в ходе освоения минерально-сырьевых узлов может в значительной мере способствовать развитию инфраструктуры, в том числе, прокладке дорог, организации складских помещений и перевалочных баз, более эффективному использованию транспорта.

Чрезвычайно актуальна разработка государственной стратегии освоения северных территорий, изменение налоговой политики, в частности, увеличение республиканской доли налогов на добычу полезных ископаемых, предоставление финансовых возможностей предприятиям для проведения геологоразведочных, технологических и научно-исследовательских работ, создание благоприятных условий для реализации инвестиционных проектов.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН № 27 (проект УрО РАН № 12-П-5-1027), Программы УрО РАН Арктика № 12-5-6-016

Литература

1. Север: проблемы периферийных территорий / отв. ред. В.Н. Лаженцев. - Сыктывкар, 2007. - 420 с.
2. Пространственная парадигма освоения малоизученных территорий: опыт, проблемы, решения / под общ. ред. А.И.Татаркина. - Екатеринбург, 2009. - Т. 2. - 460 с. (Институт экономики УрО РАН).
3. Лаженцев В.Н. Север России и региональные проблемы сырьевого сектора экономики / В. Н. Лаженцев // Горный журнал. – 2007. - № 3. - С. 4 - 11.
4. Лаженцев В.Н. Инновационные технологии освоения минерально-сырьевого комплекса северо-востока европейской части России / В.Н. Лаженцев, И.Г. Бурцева, И.Н Бурцев. - Экономика региона. - № 3. - 2010. - С.130 - 137.
5. Коровкин В.А. Недра Северо-Запада Российской Федерации / В.А. Коровкин и др. – СПб: Изд-во ВСЕГЕИ. - 2003. - 520 с.
6. Боровинских А.П. Стратегия развития минерально-сырьевой базы углеводородов / А.П. Боровинских и др. // Горный журнал. - 2007. - № 3. - С. 52 - 57.
7. Боровинских А.П. Перспективы использования минерально-сырьевой базы Республики Коми / А.П. Боровинских // Горный журнал. - 2007. - № 3. - С. 46 - 52.
8. Богатство недр России. Минерально-сырьевой и стоимостной анализ / ред. Б. К.Михайлов. О. В.Петров, С. А. Кимельман. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. - 484 с.

К содержанию

УДК 622.016.62

Мухин Сергей Евгеньевич
аспирант кафедры ПРПМ
Московский Государственный
Горный Университет,
Россия, 119991, г. Москва,
Ленинский проспект, д. 6,
Тел. +7 (926) 5991388,
e-mail: mse.gdp@gmail.com

ЭКОНОМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПОДГОТОВКИ ЗАПАСОВ ШАХТ К ИНТЕНСИВНОЙ ОТРАБОТКЕ

Аннотация:

В данной статье рассмотрены экономико-технологические решения по совершенствованию подготовки запасов к интенсивной отработке. Разработка длинными лавами является предпочтительным методом в угольной промышленности для максимизации производства и извлечения запасов угля. Проанализированы основные факторы, учитываемые для увеличения длины очистного забоя. На основе проведённого исследования автором определены условия, необходимые для оптимизации подготовки запасов длинными очистными забоями, позволяющие сократить количество углеотходов. В статье рассмотрены различные стороны для обоснования проектных решений и решения технических проблем.

Ключевые слова: длинный очистной забой, система разработки, Восточный Донбасс

Mukhin Sergey Evgenyevich
Moscow State Mining University (MSMU),
postgraduate student of Underground Mining
of Flat Masses Department,
Russia, 119991, Moscow, Leninsky Ave, 6,
Tel. +7 (926) 5991388,
e-mail: mse.gdp@gmail.com

ECONOMIC AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO IMPROVE THE MINING STOCKS PREPARATION TO INTENSIVE DEVELOPMENT

Abstract:

This article considers economic and technological solutions to improve the efficiency of reserves recovery to intensive development. Longwall mining is the preferable method in coal mining to maximize production and reserves recovery. This article analyzes the main factors considered for increasing longwall panel width. In terms of performed research the author has identified the required condition for optimization reserves recovery by longwall faces, resulting in a reduced amount of coal wastes. This article discusses the aspects for design considerations and solutions of technical problems.

Keywords: longwall face, mining system, East Donbass

Как показывают исследования, проведенные на шахтах Восточного Донбасса [1], основное влияние на формирование углеотходов при подземной разработке месторождений оказывают очистные горные работы (65 – 70 %), подготовительные и ремонт выработок дают в сумме 30 – 35 %.

Одним из направлений снижения объема углеотходов является укрупнение размеров выемочных полей при их нарезке за счет увеличения длины очистных забоев. Это позволяет повысить коэффициент использования месторождения, при уменьшении числа подготовительных выработок, снизить потери, сократить потребности в площадях и вспомогательных шахтных сооружениях.

Проблемой увеличения длины очистного забоя ученые и производственники начали заниматься еще во второй половине XX века (СССР и другие угледобывающие страны). Технологическими схемами разработки пластов на угольных шахтах [2] предусматривалось изменение лавы в различных горно-геологических условиях в диапазоне 150 – 250 м. В СССР увеличение длины очистного забоя со 150 – 200 до 300 – 350 м имело место в отдельных случаях, не носило массового характера. Так, например, на шахте имени газеты “Социалистический Донбасс” увеличение длины лавы со 180 – 200 до 300 м позволило достичь роста нагрузки в 2 – 2,1 раза. Для условий Кузнецкого

К содержанию

бассейна (шахта “Распадская”) [3] увеличение длины очистного забоя до 250 – 300 м позволило:

- снизить объем проведения подготовительных выработок с 4,2 до 2,1 м на 1000 т запасов;
- сократить количество лав с трех до двух при сохранении объемов добычи угля;
- снизить зольность добываемого топлива и за счет этого уменьшить издержки производства на 10 – 15 %.

Тенденция увеличения длины очистных забоев отмечается во всех развитых угледобывающих странах. Так, на шахте “Твентимайл” (США) из одной лавы длиной 305 м было добыто 5,5 млн т угля за год с подвиганием лавы до 18,5 м в смену. В каменноугольной промышленности Германии освоение технологии отработки выемочных полей лавами длиной 350 – 400 м началось с 1990-х годов. На шахте “Фридрих Генрих/Рейнланд” в Ками-Лимпфорте была успешно испытана технология отработки угольного пласта в лаве длиной 430 м. При этом нагрузка в первые месяцы работы достигала 10000 т товарного угля в сутки [4]. Аналогичные технологии отмечены в угольной промышленности США, Австралии, ЮАР. Высокопроизводительные лавы работают и на предприятиях компании “Шеньхуа” в КНР, где длина лавы равняется 300 м при длине выемочных полей 3 – 6 км и мощности пластов до 6,5 м.

Вместе с тем широкому внедрению высокопроизводительных лав значительной длины препятствует ряд нерешенных практических вопросов горнотехнического и экономического характера. Неисследованными остаются вопросы влияния горно-геологических условий на длину очистного забоя, основными из которых являются:

- динамика изменения напряженно-деформированного состояния пород (нагрузки на крепь) по длине забоя в зависимости от мощности и глубины залегания пласта;
- изменение условия залегания пластов – угла падения, нарушенности шахтного поля.
- к технологическим факторам необходимо отнести прежде всего параметры выемочной техники:
- несущую способность механизированной крепи;
- производительность главного конвейера и очистного комбайна;
- скорость отработки запасов по площади выемочного столба;
- параметры выемочных штреков и оборудования, установленного в них для обслуживания очистных работ.

Влияние изменения длины очистного забоя на напряженно-деформированное состояние пород кровли впервые было исследовано в трудах проф. В.Д. Слесарева [5]. В этих работах, ввиду сложности происходящих в кровле процессов, им было предложено заменить расчет фактической устойчивости зависающих пород на фиктивную задачу об определении предельного пролета эквивалентной балки (эквивалентный пролет). Это позволяет существенно упростить решение задачи, не искажая физической сути происходящих в кровле пластов геомеханических явлений. В случае если зависающие породы кровли, не имеют опоры в выработанном пространстве, то для эквивалентного пролета ($l_э$) при трехстороннем закреплении плиты пород используется следующая зависимость:

$$l_э = \frac{2ab}{a + 2b},$$

где a и b – стороны обнажения кровли, м (длина и ширина лавы).

Расчеты, произведенные в соответствии с указанной зависимостью, показали, что при увеличении длины очистного забоя от 40 – 60 м, при котором поведение пород кровли отличается от ее поведения в коротком забое, до 350 – 400 м изменение эквивалентного пролета имеет характер, представленный на рис. 1. Из анализа следует, что

К содержанию

увеличение длины лавы свыше 170 – 300 м практически не оказывает влияния на изменение величины эквивалентного пролета. Это свидетельствует о том, что устойчивость пород кровли при достижении предельных пролётов не зависит от длины лавы, а определяется свойствами пород и способом управления горным давлением. При этом увеличение длины очистного забоя способствует более “эластичному” смещению и обрушению пород, более равномерному распределению нагрузки на крепи вдоль забоя.

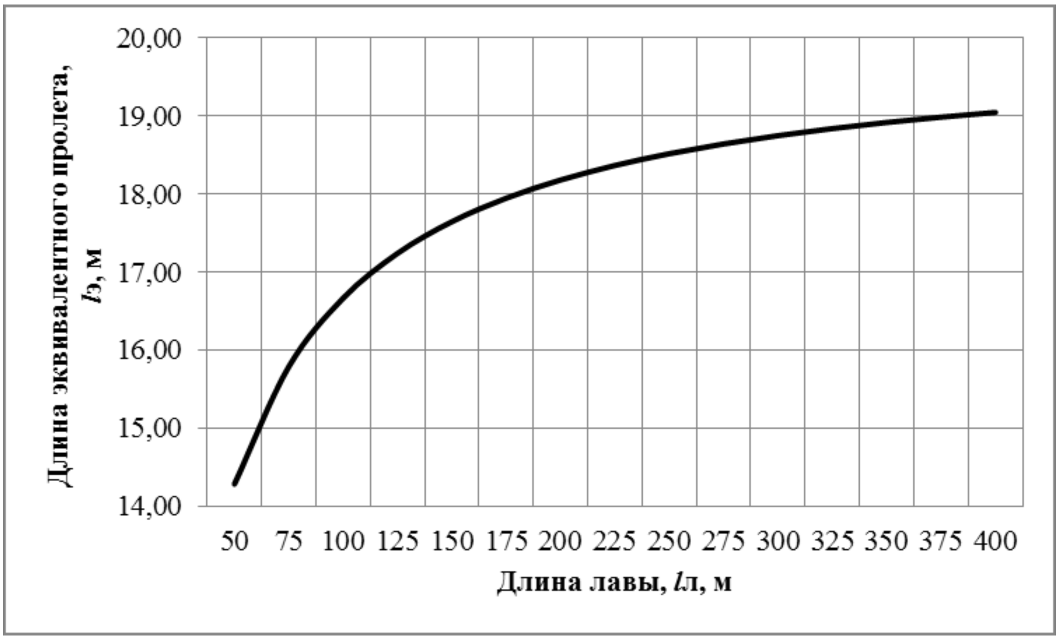


Рис. 1 – График зависимости размеров эквивалентного пролета от длины очистного забоя

Это подтверждается исследованиями, проведенными на моделях и в шахтных экспериментах [3]. Показано, что с увеличением длины очистных забоев изменение потенциальной энергии пород в направлении движения лавы и параллельно забою снижается относительно увеличения длины лавы (рис. 2). Расчеты выполнялись для наиболее тяжелых горнотехнических условий, когда размеры выработанных пространств приближались к длине лавы. Отмечено, что при увеличении длины лавы в два раза – от 100 до 200 м накопленная потенциальная энергия возросла только на 12 – 15 % с тенденцией к дальнейшему снижению ее относительной величины по мере увеличения длины забоя.

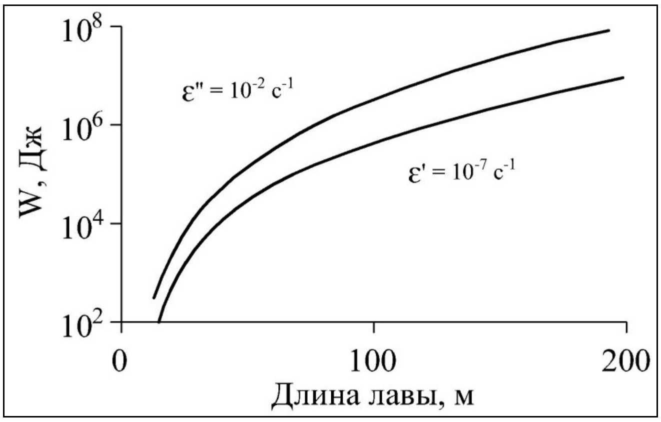


Рис. 2 – График зависимости потенциальной энергии зависающих пород кровли от длины лавы и скорости относительных деформаций основной кровли [6]

Таким образом, можно утверждать, что возрастание длины очистных забоев до 400 – 450 м с точки зрения происходящих в кровле геомеханических процессов не является осложняющим фактором ведения очистных работ, т. е. не приводит к росту нагрузки на крепи. Вместе с тем, рост длины лавы при аналогичных сравниваемых параметрах работы, технических средствах вызывает ряд негативных последствий. Это, прежде всего, снижение скорости подвигания забоя, что, несомненно, отразится на устойчивости кровли.

Исследованиями, проведенными на шахтах Восточного Донбасса [3], показано, что увеличение длины очистных забоев со 150 до 300 м неоднозначно влияет на разубоживание (зольность) горной массы в лаве. Так, при устойчивых породах кровли зольность практически не изменяется (снижение на 3 %), а при неустойчивых увеличивается на 68 %.

По вопросу влияния скорости движения лавы на устойчивость кровли существуют различные мнения учёных и практиков. Часть ученых [1, 3, 6, 7] утверждает, что повышение скорости подвигания лавы от 3 – 4 м/сут до 20 вызывает увеличение концентрации сжимающих напряжений и приближает место концентрации напряжений к забою. При этом возрастают прочностные характеристики прилегающих пород, снижается их способность к расслоению. В связи с ростом прочностных характеристик пород возрастает пролет обрушения зависающих консолей с 16 до 36,5 м. Осадки основной кровли переносятся далее в сторону выработанного пространства. Все исследователи отмечают, что с увеличением скорости движения забоя нагрузка и интенсивность на механизированные крепи снижаются, соответственно возможным решением может быть применение существующих типов крепей без усиления их несущей способности.

Отмечается, что снижение скорости движения забоя до 3 м/сут приводит к увеличению вывалообразования в лаве, повышается нагрузка на крепи [1]. Подобные явления объясняются снижением прочности и увеличением пластичности пород вследствие влияния фактора времени, приводящего к ползучести пород даже при постоянной величине напряжений. При повышении напряжений при развитии процессов роста размеров выработанных пространств и нарушенных пород в направлениях простирания (падения) и напластования может провоцировать процессы ползучести и даже текучести, что, несомненно, увеличит склонность к вывалообразованию пород в рабочее пространство лавы. Внешне явление ползучести схоже с пластическим явлением – текучестью. Однако последнее происходит только за пределами зоны упругости и при нарастающих напряжениях, в то время как первое может проявляться при напряжениях, не превышающих предела упругости, но при длительном воздействии нагрузок, что приводит к росту деформаций.

Как известно, деформации и разрушение боковых пород происходят в два этапа. Мгновенные (быстротечные), связанные с упругим восстановлением пород, которые в основном реализуются во время выемки угля, когда боковые породы получают возможность расширяться в освободившемся пространстве. Второй этап происходит за счет пластических деформаций пород, постепенно развиваясь во времени, и этот этап реализуется во время следующих за выемкой угля операций цикла от их продолжительности.

На упругую составляющую деформаций воздействовать очень сложно вследствие скоротечности ее реализации. Но вторую составляющую можно уменьшить за счет сокращения времени выполнения операций выемочного цикла, т.е. смещение и разрушение боковых пород можно существенно снизить, увеличив скорость подвигания забоя. Однако необходимо помнить, что при достижении определенной для данных горнотехнических условий скорости подвигания забоя зависающие в выработанном пространстве породы кровли увеличивают критическую длину консоли, которые при трансформации потенциальной энергии в кинетическую (динамическом обруше-

К содержанию

нии) могут вызвать деформацию крепи и даже завал лавы. Таким образом, скорость подвигания очистного забоя и его длина органически связаны, их пространственно-временное соотношение определяет степень проявления геомеханических процессов в зоне ведения очистных работ и, естественно, технико-экономические показатели работы участка, шахты в целом. Поэтому для повышения эффективности очистных работ необходимо сопоставить положительные и отрицательные стороны увеличения длины лавы.

К положительным сторонам увеличения длины лавы, в первую очередь, следует отнести сокращение числа подготовительных выработок на единицу запасов выемочного поля (горизонта, части шахтного поля). Снижение числа подготовительных выработок для отработки пластов средней мощности и маломощных означает уменьшение выхода породы, т. е. углеотходов. Зависимость снижения количества выхода породы при изменении длины лавы на единицу площади запасов представлена на графике (рис. 3) для типичных условий Восточного Донбасса (пологие пласты мощностью 1,25 м). Из анализа видно, что выход породы из очистных выработок гораздо выше, чем из подготовительных. Но, что более важно, удельный выход породы при увеличении длины лавы снижается.

В качестве положительных аспектов увеличения длины лавы также можно рассматривать сокращение времени подготовительно-заключительных операций и монтажно-демонтажных работ, отнесенного на единицу запасов, увеличение времени производительной работы комбайна, повышение коэффициента использования оборудования и, в конечном итоге, увеличение нагрузки на забой и производительности труда по участку и шахте в целом.

К отрицательным аспектам повышения длины очистного забоя нужно отнести увеличение времени цикла, снижение скорости подвигания лавы и, как следствие, снижение прочности пород, рост нагрузки на механизированные крепи и возможное повышение объема вывалообразования в лаву.

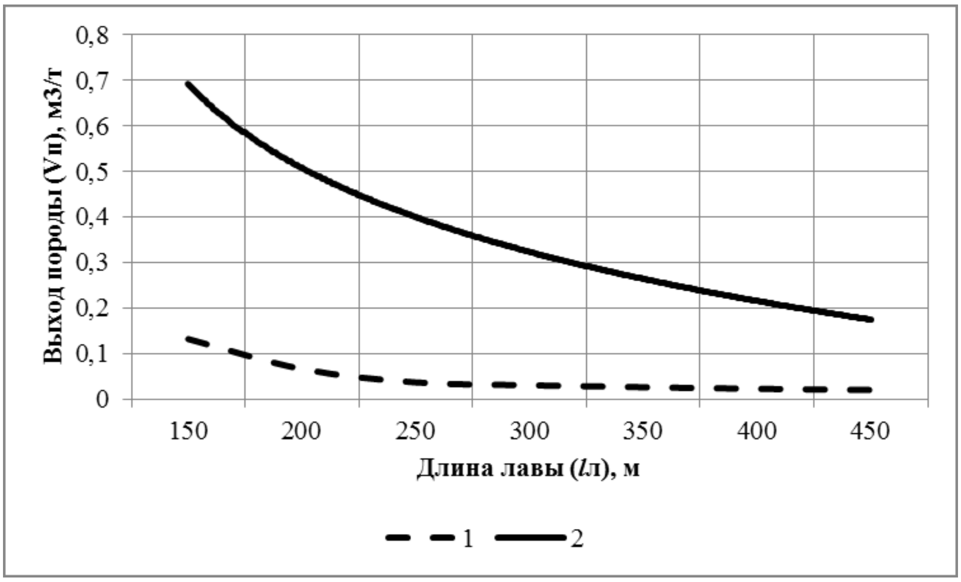


Рис. 3 – График зависимости выхода породы от длины лавы при *m*=1,25 м, *Z*=$2*10^6$ т: *1* – из подготовительных выработок, *2* – из очистных

Длинные очистные забои можно применять только в благоприятных горно-геологических условиях с относительно малой нарушенностью выемочных полей. К тому же возникают вопросы с обеспечением безопасности и проветриванием лав, разработкой соответствующих этому технических средств выемки и транспорта в забое и на выемочном участке:

К содержанию

1. Повышение временной устойчивости и прочностных характеристик пород кровли происходит благодаря увеличению скорости подвигания очистного забоя. Для увеличения скорости подвигания применяются очистное оборудование нового технического уровня. Для обслуживания оборудования такого уровня необходимы универсальные знания работников современной формации и соответствующая этому новая организация труда.

2. Доставочные средства в лаве и транспортном штреке должны обладать повышенной несущей способностью, а также высокой ремонтопригодностью для уменьшения или устранения необходимости замены компонентов в середине панели в связи со значительным ростом нагрузки и ее неравномерностью во времени.

3. Рост грузопотока определяет увеличение габаритов транспортного оборудования в штреках, а это, в свою очередь, ведет к росту поперечного сечения подготовительных выработок и, следовательно, объема углеотходов.

Поэтому оценка возможности увеличения длины очистного забоя по геомеханическим признакам должна производиться для конкретных горнотехнических условий с учетом плюсов и минусов изменения параметров технологии и геомеханических процессов. Окончательно оптимальная длина лавы должна определяться в результате экономических расчетов, учитывающих совокупные затраты на добычу и обогащение угля, получаемую прибыль и вычеты за загрязнение окружающей среды углеотходами. Экономический эффект от увеличения длины лавы на единицу площади запасов выемочного поля можно получить из составляющих:

$$Э=Э_Л+Э_П+Э_п^р, \tag{1}$$

где $Э_Л$ – затраты, приходящиеся на выход породы в лаве;

$Э_П$ – затраты, приходящиеся на выход породы из подготовительных выработок;

$Э_п^р$ – затраты, приходящиеся наремонт подготовительных выработок.

При этом исследования[1] показали, что в процентном соотношении экономический эффект от увеличения длины очистного забоя можно условно разделить в следующих пропорциях:

- большая часть приходится на лавы около 40-60 %,
- 30 % приходится на подготовительные выработки,
- 10 % на ремонт подготовительных выработок.

Литература

1. Терентьев Б.Д. Проблема снижения зольности горной массы / Б.Д. Терентьев, В Б. Артемьев, А.Т. Ецков // Уголь. - 2002. - № 2 – С. 63 – 65.

2. Технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах.

3. Белодедов А.А. Установление зависимости влияния длины лавы на основные технико-экономические показатели работы шахты / А.А. Белодедов, С.А. Шмаленюк. – ГИАБ. – 2008. – № 8.– С. 216-2 19.

4. Штенманс Карл-Хайнц. Техническое оснащение и достигнутая производительность 430-метровой лавы / Карл-Хайнц Штенманс. – Глюкауф. – 2000. – № 2 (3). – С. 7 – 14.

5. Слесарев В.Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна / В.Д. Слесарев. – М.:Углеиздат, 1952.

6. Коршунов Т.И. Геомеханика на угольных шахтах / Т.И. Коршунов и др. – М. – Изд-во “Горное дело”, 2011.– 388 с. (Серия “Библиотека горного инженера”, Т.3, кн. 6).

7. Михеев О.В. Управление состоянием массива горных пород / О.В. Михеев и др. – М.: МГГУ, 2004. – 399 с.

К содержанию

УДК 622.272

Никитин Игорь Владимирович
младший научный сотрудник
лаборатории подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка 58,
Тел. +79506579574,
e-mail: real_Igrik@mail.ru

Nikitin Igor Vladimirovich
research of the laboratory of underground
geotechnology, The Institute of Mining, UB RAS
620219, Ekaterinburg, Mamin-Sibiryak st., 58,
Tel. +7 9506579574,
e-mail: real_Igrik@mail.ru

ВСКРЫТИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ КРУТОПАДАЮЩЕГО ЖИЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРИСТОЙ МЕСТНОСТИ

OPENING AND PROCESSING TECHNOLOGY OF STEEPLY DEEPING VEIN DEPOSIT ON THE HIGHLANDS

Аннотация:

Разработаны технические и технологические решения по вскрытию, подготовке и очистной выемке запасов, обеспечивающие эффективную и безопасную разработку Квайсинского полиметаллического месторождения. Произведено технико-экономическое сравнение вариантов вскрытия нижних горизонтов месторождения. Установлено, что вскрытие автотранспортным уклоном с действующей штольни по дисконтированным затратам эффективнее вскрытия новой штольней. Высокая эффективность подземной добычи руды достигается внедрением малозатратной технологии с обрушением руды и применением высокопроизводительного самоходного оборудования.

Ключевые слова: схема вскрытия, система подземной разработки, самоходное оборудование, технико-экономическое сравнение, дисконтированные затраты.

Abstract:

Technical and technological solutions on the development, preparation and mining extraction providing efficient and safety mining of the Kvaisinsky polymetallic deposit are worked out. Technical and economic comparison of the patterns of deposit's lower levels resources development is performed. It is determined that development with a motor transport grade from a running adit is more efficient by discounted expenditures than development by a new adit. High efficiency of subsurface ore mining is attained by introduction the technology of ore caving and self-propelled equipment employment with low expenditures.

Key words: pattern of development, subsurface mining system, self-propelled equipment, technical and economic comparison, discounted costs.

Квайсинское свинцово-цинковое месторождение находится на территории Республики Южная Осетия в высокогорной части предгорий Южного склона Главного Кавказского хребта. Оно представлено разрозненными столбообразными и жилообразными рудными телами длиной по простиранию от 50 до 700 м и углом падения 75–80°, средняя мощность рудных тел 3 м, руды средней устойчивости с коэффициентом крепости 7 – 13. Вмещающие породы устойчивые и средней устойчивости, однако отдельные участки, вследствие гидротермальных изменений, характеризуются как неустойчивые в интервале 1 – 3 м от контакта с рудным телом [1, 2].

Схема и порядок вскрытия месторождения определяются существующим положением горных работ, состоянием вскрывающих выработок и технико-экономическим сравнением вариантов.

Запасы верхней части месторождения вскрываются этажными капитальными штольнями и вентиляционными восстающими, высота этажа 50 – 70 м. Добытая руда из очистных блоков подземными автосамосвалами транспортируется по штольне на

К содержанию

поверхность. На обогатительную фабрику (ОФ) руда доставляется автосамосвалами большой грузоподъемности по нагорной автодороге.

Для вскрытия нижележащих запасов возможно применение двух вариантов:

Вариант I – вскрытие штольней длиной 2100 м, сечением 13,5 м^2 и вентиляционно-ходовым восстающим (ВХВ) между горизонтами со строительством промплощадки возле устья новой штольни (рис. 1, *а*). Добытая руда транспортируется автосамосвалом по штольне на поверхность и далее на ОФ. Длина транспортирования по штольне – 2,1 км, по автодороге – 4,8 км.

Вариант II – вскрытие автотранспортным уклоном, проходимым с действующей штольни под углом 8° (рис. 1, *б*). По данному варианту необходимо пройти автоуклон длиной 360 м сечением 13,5 м^2, доставочный штрек длиной 1050 м, ВХВ и комплекс водоотлива. Добытая руда транспортируется по доставочному штреку, автоуклону, действующей штольне на поверхность и далее на ОФ. Длина транспортирования по горным выработкам – 2,0 км, по автодороге – 5,5 км.

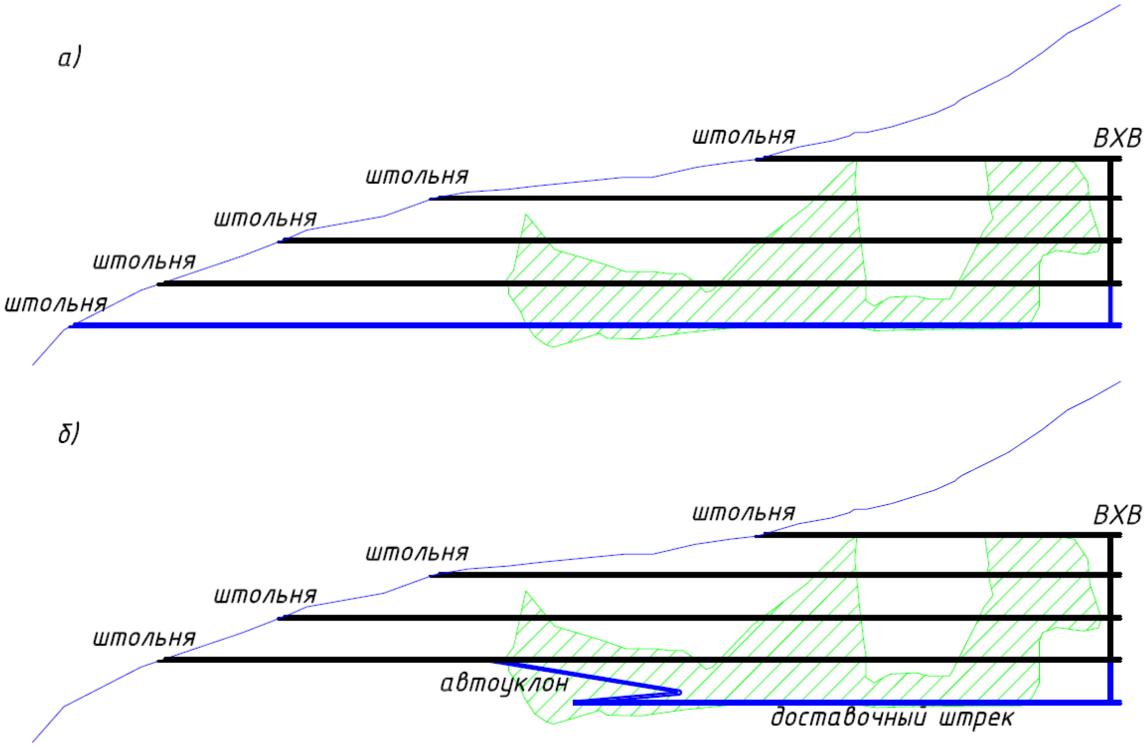


Рис. 1 – Схема вскрытия месторождения *а* – штольнями для автомобильного транспорта; *б* – штольнями и автотранспортным уклоном

Сравнение вариантов производилось по критерию минимума дисконтированных затрат (ДЗ), получаемых путем суммирования разновременных капитальных затрат на вскрытие и эксплуатационных затрат на транспортирование руды. Данный показатель позволяет учесть, соизмерить, объективно оценить все затраты, связанные со вскрытием месторождения, с учетом динамики развития горного производства. Математическое описание целевой функции следующее:

$$\text{ДЗ} = \sum_{t=0}^{T} \left(\text{К} + \text{Э}\right) \frac{1}{(1+E)^t} \to \min,$$

где T – продолжительность строительства и эксплуатации горизонта, лет;

К_t – капитальные затраты в t-м году строительства горизонта, руб/год;

Э_t – эксплуатационные затраты в t-м году эксплуатации, руб/год;

E – норма дисконта, доли ед.

По обоим вариантам удельные затраты на строительство горно-капитальных выработок приняты равными 3500 руб/м^3, затраты на автомобильный транспорт по автодороге – 14 руб/т·км, по горным выработкам – 27 руб/т·км. Для дисконтирования приняты следующие условия: норма дисконта – 10 %; продолжительность строительства горизонта по обоим вариантам – 2 года; годовой объем добычи – 100 тыс. т; расчетная продолжительность отработки запасов этажа – 13 лет. Технико-экономические показатели (ТЭП) по сравниваемым вариантам вскрытия представлены в табл. 1.

Таблица 1

ТЭП по вариантам вскрытия запасов нижнего горизонта

Показатель	Затраты, тыс. руб.	
	Вариант I	Вариант II
Капитальные затраты		
1. Строительство промплощадки	20000	-
2. Горно-капитальные работы		
- штольня	99225	-
- автоуклон	-	17010
- доставочный штрек	-	49613
- комплекс водоотлива	-	7000
- ВХВ	847	847
Итого капитальные затраты	**120072**	**74470**
Эксплуатационные затраты		
3. Транспорт руды до ОФ		
- внутрирудничный	70552	67192
- внешний	83617	95811
Итого эксплуатационные затраты	**154169**	**163003**
Дисконтированные затраты	179198	141085

Технико-экономическое сравнение показало, что *вариант II* вскрытия автотранспортным уклоном более эффективен по дисконтированным затратам и может быть принят для вскрытия запасов нижней части месторождения.

Параметры системы разработки определяются технологическими требованиями, направленными на достижение заданных показателей, и геомеханическими возможностями обеспечения устойчивости ее конструктивных элементов. Порядок отработки месторождения предполагается следующий:

- по падению рудных тел – сверху вниз;
- по простиранию – от дальнего фланга к устью вскрывающей штольни;
- вкрест простирания – от висячего бока к лежачему.

Основным направлением совершенствования технологии добычи руды является применение современного высокопроизводительного самоходного технологического оборудования, обладающего рядом преимуществ по сравнению с традиционным (рельсовым и переносным) [3]:

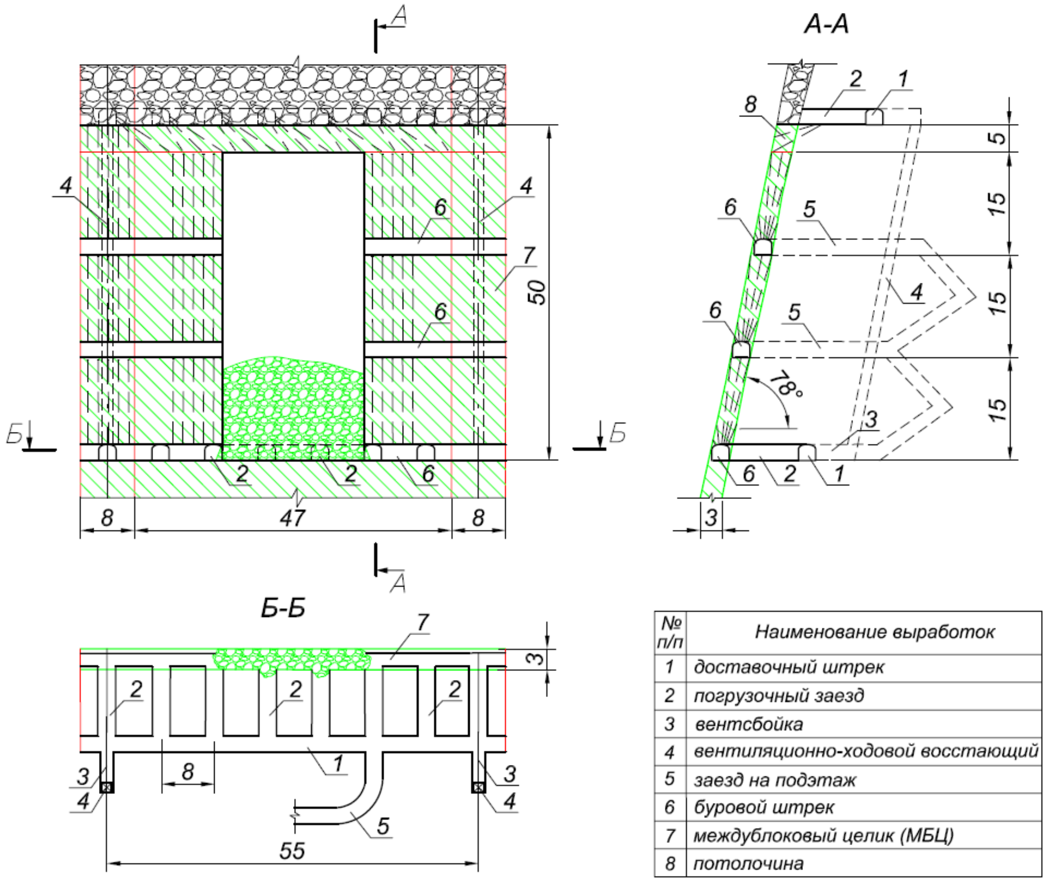
- сокращение продолжительности строительства горно-капитальных и подготовительно-нарезных выработок;
- высокая производительность труда;
- низкие затраты на содержание и ремонт выработок;
- сокращение численности персонала;
- повышение безопасности производства проходческих и очистных работ за счет ликвидации ручного труда;
- создание комфортных условий труда подземных рабочих на проходческих, очистных и транспортных работах.

К содержанию

Исходя из особенностей Квайсинского месторождения рекомендовано применение следующих систем разработки:

1. *Подэтажно-камерная* с последующим обрушением и выемкой запасов междублоковых целиков (МБЦ) и потолочин (ПЦ) для участков с устойчивыми рудой и вмещающими породами (рис. 2). Параметры системы разработки таковы: высота блока (высота этажа) 50 – 70 м, высота подэтажей 15 – 20 м, длина блока 55 м, ширина обусловлена средней мощностью рудного тела 3 м, мощность ПЦ 4 – 8 м, ширина МБЦ 6 – 10 м. Очистные блоки располагаются по простиранию рудных тел.

Выемка запасов блока производится в две стадии: на первой – вынимаются запасы камер, на второй – обрушаются МБЦ и ПЦ на открытое пространство камеры. Выпуск руды площадной при выемке камер из открытого пространства после обрушения целиков – под обрушенными породами. Отбитая руда выпускается через днище блока в погрузочные заезды. Погрузка и доставка руды из погрузочных заездов производится погрузо-доставочными машинами (ПДМ) типа Sandvik LH203 грузоподъемностью 3,5 т в автосамосвал Sandvik TH320 грузоподъемностью 20 т.



№ п/п	Наименование выработок
1	доставочный штрек
2	погрузочный заезд
3	вентсбойка
4	вентиляционно-ходовой восстающий
5	заезд на подэтаж
6	буровой штрек
7	междублоковый целик (МБЦ)
8	потолочина

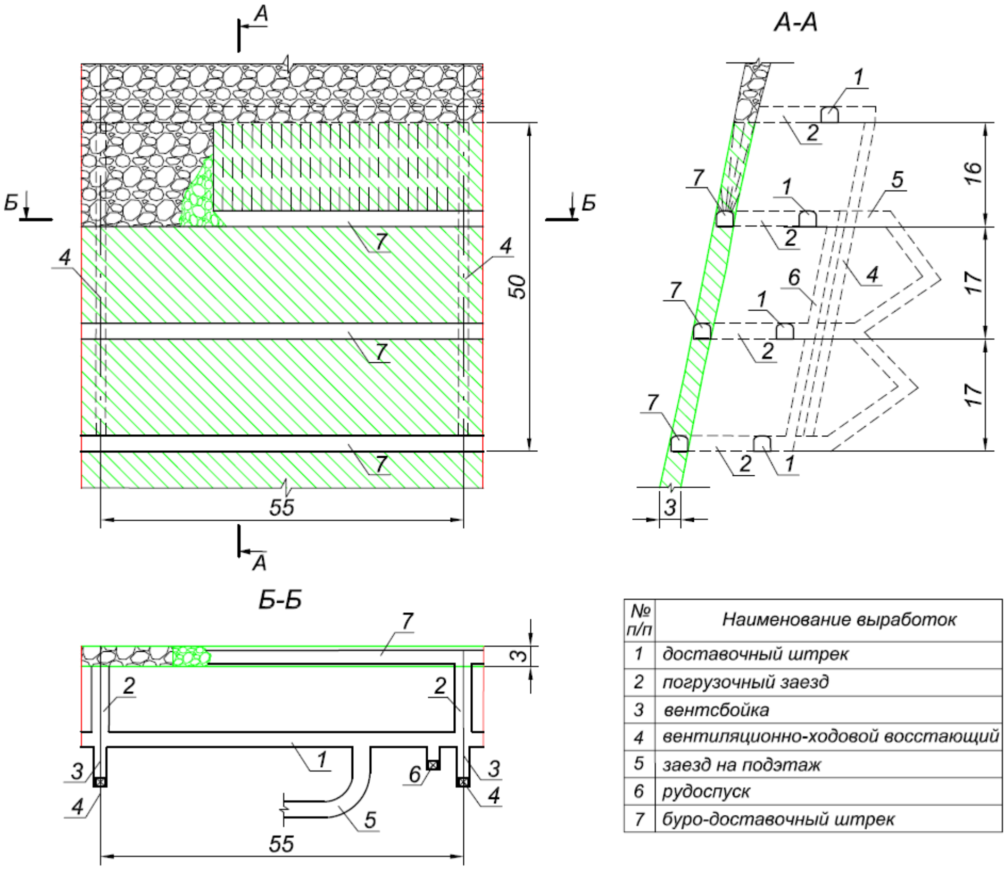
Рис. 2 – Подэтажно-камерная система разработки

2. *Подэтажное обрушение* с торцевым выпуском руды для участков с устойчивой рудой и неустойчивыми (трещиноватыми и склонными к вывалам) вмещающими породами (рис. 3). Параметры системы разработки таковы: высота блока 50 – 70 м, блок разбивается на подэтажи высотой 17 – 23 м, длина блока по простиранию рудного тела 55 м, ширина принимается равной средней мощности рудных тел 3 м. Очистные блоки располагаются по простиранию рудных тел.

Очистная выемка на подэтаже осуществляется путем послойной отбойки руды в зажиме на обрушенную породу зарядами восходящих вееров скважин диаметром 65 мм. Порядок отработки в подэтаже – сплошной от фланга блока к флангу. Выпуск руды осуществляется под обрушенными породами через торец буро-доставочной выработки. Погрузка и доставка руды осуществляется ПДМ типа Sandvik LH203 до рудоспуска, по

К содержанию

которому руда перепускается на откаточный горизонт, где при помощи вибрационной доставочно-погрузочной установки ВДПУ-4ТМ загружается в автосамосвал Sandvik TH 320. Доставка ПДМ на подэтажи осуществляется по наклонному съезду.



№ п/п	Наименование выработок
1	доставочный штрек
2	погрузочный заезд
3	вентсбойка
4	вентиляционно-ходовой восстающий
5	заезд на подэтаж
6	рудоспуск
7	буро-доставочный штрек

Рис. 3 – Система разработки подэтажного обрушения

Основные показатели по разработанным и применяемым на руднике системам разработки приведены в табл. 2.

Таблица 2

ТЭП по системам разработки

Показатели	Подэтажные штреки		Подэтажное обрушение	
	с доставкой рельсовым оборудова-нием	с доставкой самоходным оборудова-нием	с доставкой рельсовым оборудова-нием	с доставкой са-моходным обо-рудова-нием
Эксплуатационные запасы блока, т	27696	27696	27844	27844
Удельный объем ПНР, м^3/1000 т	84,9	113,0	90,6	125,1
Выход руды с 1 м скважины, м^3/м	1,7	1,7	1,5	1,5
Производительность труда на процессах:				
- проходка, м^3/ чел-смену	2,8	6,1	2,8	6,1
- бурение, т/ чел-смену	164,2	164,2	144,9	144,9
- доставка, т/ чел-смену	70,5	267,0	72,3	267,0
Производительность труда забойных рабочих, т/ чел-смену	19,9	34,7	19,6	33,8
Потери, %	6,0	6,0	10,0	10,0
Разубоживание, %	16,0	16,0	20,0	20,0

К содержанию

Таким образом, разработанные технические и организационные решения по вскрытию и очистной выемке запасов Квайсинского полиметаллического месторождения обеспечивают планомерное достижение рудником максимальной производственной мощности в 150 тыс. т руды в год и его ритмичную работу в течение 17 – 20 лет.

Литература

1. Дзайнуков А.Б. Обоснование необходимости создания Квайсинского горнопромышленного комплекса / А.Б. Дзайнуков, В.Г. Дзеранов, Б.Р. Кусов // Вестник Владикавказского научного центра. – 2010. – Т. 10. – № 1. – С. 43 - 53.

2. Голик В.И. Разработка обводненных нагорных месторождений / В. И. Голик // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1999. – № 3. – С. 69 - 70.

3. Волков Ю.В. Основные направления развития геотехнологии и геотехники подземной разработки рудных месторождений / Ю.В. Волков, И.В. Соколов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 3. – С. 270 - 273.

К содержанию

УДК 622.233/235.012.3

Пьянзин Станислав Русланович
аспирант, младший научный сотрудник
лаборатории открытой геотехнологии
Институт горного дела УрО РАН
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
Тел. 8(343)3501497, 89530067777,
e-mail: goldminer1@rambler.ru

Рождественский Владимир Николаевич
старший научный сотрудник,
кандидат технических наук
лаборатории открытой геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58

Кочнев Константин Анатольевич
аспирант, младший научный сотрудник
лаборатории открытой геотехнологии
Институт горного дела УрО РАН
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58

Кабелко Сергей Геннадьевич
научный сотрудник
отдела геологии и геоинформатики
ОАО «ВИОГЕМ»
308007,г. Белгород, ул. Б. Хмельницкого, 86
Тел. +7 (4722) 26-05-23

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНОГО КОМПОНЕНТА В РАЗВАЛЕ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ ПРИ БОЛЬШИХ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДАХ ВВ

Аннотация:

В статье описаны опыты, проводившиеся на предприятии ОАО «ЕВРАЗ-КГОК» по внедрению ГИС ГЕОМИКС модуля BlastModel для прогнозирования распределения железной руды в развале горной массы при буровзрывной отбойке на карьерах.

Ключевые слова: распределение полезного компонента, удельных расход, многорядное короткозамедленное взрывание, компьютерное моделирование.

Pyanzin S.R.,
junior research worker,
The Institute of Mining UB RAS
620219, Yekaterinburg, 58, Mamin-Sibiryak st.
Tel. +7(343) 350-14-97
e-mail: goldminer1@rambler.ru

Rozhdestvensky V.N.
candidate of technical sciences,
The Institute of Mining UB RAS
620219, Yekaterinburg,
58, Mamin-Sibiryak st.

Kochnev K.A.
junior research worker
The Institute of Mining UB RAS
620219, Yekaterinburg,
58, Mamin-Sibiryak st.

Kabelko S.G.,
candidate of technical sciences,
LJSC "VIOGEM",
308007, Belgorod, B. Hmelnitsky, 86.
Tel. +7 (4722) 26-05-23

PREDICTING THE DISTRIBUTION OF VALUABLE COMPONENTS IN DISINTEGRATING OF BROKEN ROCK MASS UNDER LARGE BKASTING AGENTS' UNIT COST

Abstract:

The experiment on introduction GIS GEOMIX Blast Model module for prediction iron ore distribution in disintegration in the open pit are set forth in the article.

Key words: valuable component distribution, unit costs, multi - series short-delay, simulation modeling.

Применение взрывного разрушения горных пород при значительных удельных расходах взрывчатых веществ на карьерах, разрабатывающих рудные месторождения, влечет за собой проблему оценки качества полезного ископаемого в образованном после взрыва развале горной массы. Установленное по данным опробования буровзрывных скважин распределение в целике магнитной железной руды, регламенти-

К содержанию

рующее качество, при сложном строении рудных тел не представляется возможным с высокой степенью достоверности распространить на развал разрушенных взрывом пород. Следствием этого являются потери и разубоживание полезного ископаемого, погрешности оперативного планирования добычи руд и их внутрикарьерного усреднения. Осуществить прогноз распределения полезных компонентов, используя для этого данные опробования буровзрывных скважин, позволяет компьютерное моделирование взрывного разрушения горных пород на карьерах.

Исследования проводились на базе карьеров ОАО «ЕВРАЗ – КГОК». Для практического применения программного моделирования были рассмотрены следующие основные положения ведения взрывных работ, разработанные проводимыми ранее исследованиями сотрудниками ИГД УрО РАН [1]:

- применение подпорной стенки из ранее взорванной неубранной горной массы оптимальным размером 10 – 15 м как способа управления параметрами развала;
- количество взрываемых рядов 4 – 6;
- высота развала не более 18 м, выход негабаритных кусков не более 1,5 – 2 %, коэффициент разрыхления 1,3 – 1,5;
- применение рекомендованных [3] для условий ОАО «ЕВРАЗ – КГОК» схем многорядного короткозамедленного взрывания (МКЗВ) (рис. 1), для обеспечения требуемого качества дробления и проработки подошвы. В условиях применения МКЗВ один из основных факторов, обеспечивающих минимальное перемещение породы и удовлетворительное качество дробления без обратного выброса, определяется пространственно-временной последовательностью взрывания зарядов. Из всего разнообразия схем МКЗВ для компьютерного моделирования взрывного разрушения и перемещения горной массы были выбраны три схемы, при которых обеспечивается хорошее дробление и минимальное перемещение взорванной горной массы [1].

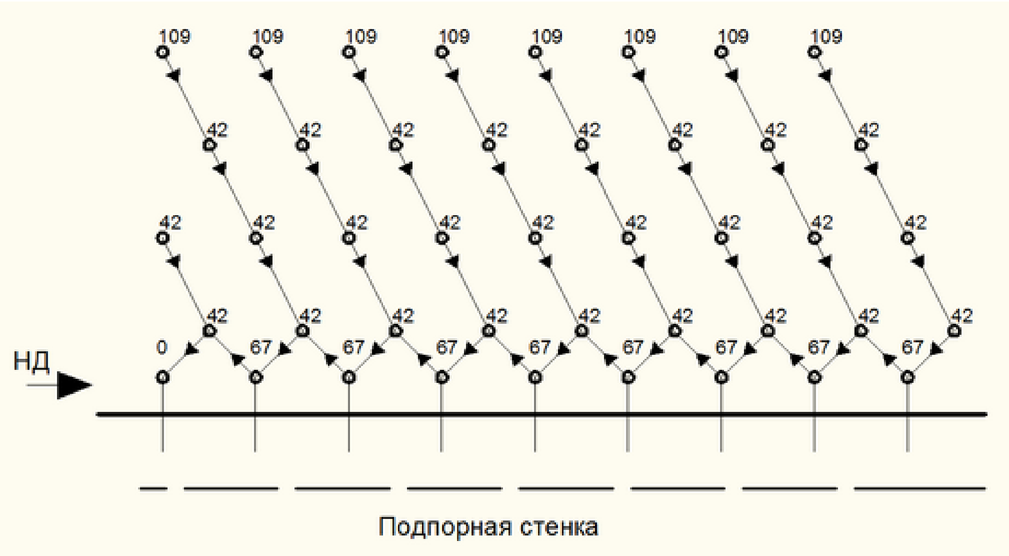


Рис. 1 – Принципиальная схема монтажа поверхностной сети при использовании неэлектрических систем инициирования скважинных зарядов

В условиях ведения буровзрывных работ на карьерах ОАО «ЕВРАЗ - КГОК» при удельных расходах взрывчатых веществ (ВВ) 1,5 – 2,3 кг/м^3 происходит сильная трансформация внутренней структуры разрушаемого массива (значительное смещение рудного тела от первоначального положения и перемешивание с вмещающими породами), но, как показывает опыт отгрузки взорванной горной массы, только при таких удельных расходах ВВ обеспечивается удовлетворительное дробление крупноблочных

К содержанию

вязких пород и достаточно высокая производительность работы погрузо-транспортного оборудования.

Подпорная стенка (в зависимости от ее величины и формы) снижает движение породы в горизонтальном направлении и создает условия перемещения разрушенной породы только в вертикальном направлении, в результате чего снижается дальность выброса взорванной горной массы, но растет высота развала. Исследования совместного влияния величины подпора, различных схем МКЗВ и направления отбойки на трансформацию развала взорванной горной массы проводились на технологических массовых взрывах в Главном, Западом и Северном карьерах с применением технологии наземного лазерного сканирования.

На основании проведенных замеров изменения параметров развала для снижения трансформации внутренней структуры рудных блоков рекомендуется использовать интервалы времени замедления 67 – 109 мс в скважинах первого ряда, 42 мс в остальных рядах с применением схемы монтажа в обратную диагональ, обеспечивающую угол направления отбойки не более 40 – 60° [1]. Большое влияние на трансформацию взорванной горной массы и разубоживание рудной массы при производстве БВР оказывает число взрываемых рядов скважин. При многорядном взрывании скважинных зарядов с подпором установлено, что эффективность дробления и минимальное перемещение рудной массы происходит при числе рядов более четырех. При меньшем числе рядов высота развала снижается до 9 – 12 м и растет ширина развала (табл. 1).

Таблица 1

Результаты статистического анализа изменения параметров развала в зависимости от интервалов времени замедления и направления отбойки

Интервалы времени замедления в первом - последующих рядах	Схема монтажа по отношению к началу детонации (НД) блока	Угол направления отбойки, град	Изменение параметров развала от величины подпора (L), м		Коэффициент детерминации		Стандартное отклонение		Проработка подошвы уступа
			ширины	высоты	ширины	высоты	ширины	высоты	
42-42 (25+25) -42	Обратная диагональ	30 – 34 30 – 37	58,1 - 1,64L	8,5 + 0,27L	0,91	0,87	3,3	0,8	Завышение не отмечено
67-42 (42+42) -25	Обратная диагональ	38 – 40 40 – 45	41,2 - 1,32L	11,7 + 0,22 L	0,92	0,87	2,3	0,6	Завышение не отмечено
(100-109)-42 (100-109)-67	Обратная диагональ	50 – 56 46 – 51	46,6 - 1,39L	12,6 + 0,21 L	0,94	0,72	2,2	0,6	Завышение не отмечено
(100-109)-42 (100-109)-67	Прямая диагональ	70 – 80 80 – 60	25,1 - 0,81L	12,4 + 0,25 L	0,88	0,87	1,8	0,8	Завышение подошвы (1.0 – 2.0 м)

Для компьютерного моделирования трансформации структуры взрывного блока была применена ГИС ГЕОМИКС, модуль «BlastModel», разработанная ОАО «ВИОГЕМ». Численные расчёты физических процессов, происходящих при взрывном разрушении, осуществляются на основе блочной модели (БМ) буровзрывного блока, состоящей из элементарных ячеек. «BlastModel» описывает поведение породного массива в элементарных ячейках БМ при поэтапном процессе его взрывного разрушения. Данный модуль работает с применением технологий параллельного программирования центральных и графических процессоров на высокопроизводительных вычислительных системах [2].

К содержанию

На основании рассмотренных выше положений при участии лаборатории открытой геотехнологии ИГД УрО РАН разработчиками ГИС ГЕОМИКС произведена адаптация модуля «BlastModel» для прогнозирования структуры развала при производстве взрывных работ на карьерах ОАО «ЕВРАЗ – КГОК». В результате проведения экспериментальных взрывов в программу были введены коэффициенты, учитывающие применение наклонных скважин по первом ряду, взрывание на подпорную стенку, а также применение повышенного удельного расхода ВВ (более 2 кг/м^3). Данные, необходимые для моделирования модуле «BlastModel»: характеристика поверхности блока, координаты скважин, качественные характеристики руда – вскрыша по результатам опробования на блоке, характеристика взрывной сети, параметры буровзрывных работ, характеристика взрывчатого вещества и забойки.

На основании качественных характеристик и характеристик поверхности программой рассчитывается блочная модель блока, подготавливаемого к взрыву с распределенным в ней полезным компонентом. Подпорной стенке присваивается состояние разрыхленной горной массы. Модуль рассчитывает по всем заданным параметрам и характеристикам развал горной массы с распределением в нем полезного компонента. Результатом расчетов являются разрезы с координатами, построенные в заданном порядке, и таблица, в которой указано содержание по полезному компоненту и пустой породе для каждого из сечений (рис. 2).

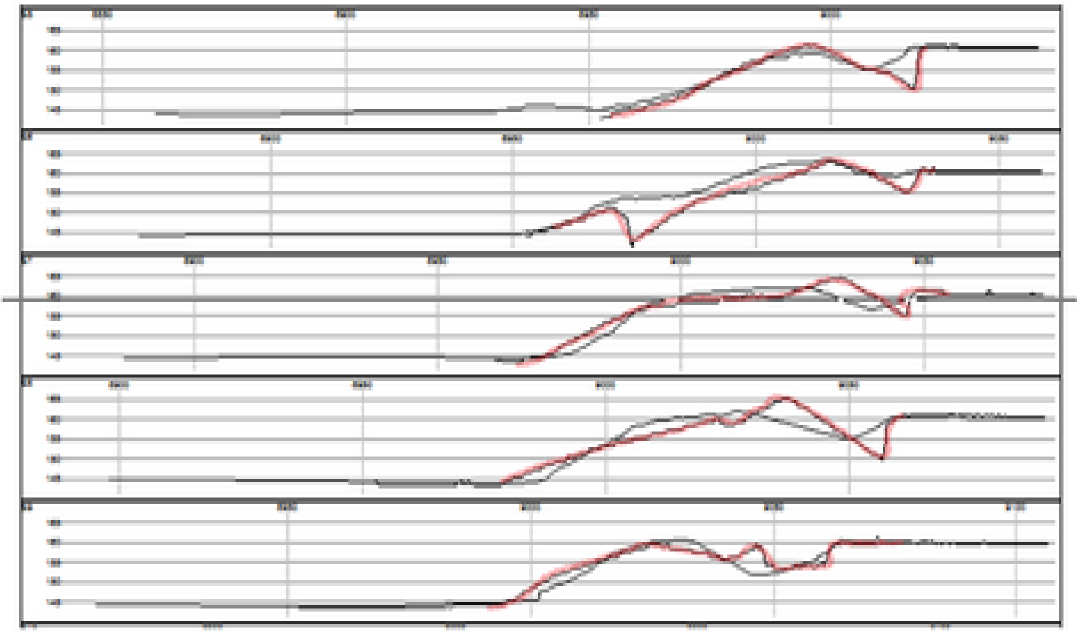


Рис. 2 – Сравнение расположения поверхности развала рассчитанной, в «BlastModel» и полученной при взрыве блока № 2191: *красным* – прогнозируемое положение поверхности развала в «BlastModel», *черным* – реальное положение поверхности развала

Один из блоков, подвергшихся моделированию, – блок № 3577. Высота уступа 15 м, средняя глубина скважин 17,2 м, сетка 5 м × 5,5 м, удельный расход ВВ 2,27 кг/м^3, количество скважин на блоке 164, общая масса взрываемого ВВ 132786 кг, объем взрываемой горной массы 58300 м^3; остальные параметры моделирования БВР блока № 3577 приведены в табл. 2. Результаты моделирования представлены на рис. 3 - 5.

К содержанию

Таблица 2

Параметры БВР по блоку № 3577

Показатель	Ед. изм.	Ф
Объем взорванной горной массы	тыс.м^3	58,3
Общий расход ВВ на блоке, в том числе по видам:	кг	132786
Нитронит	кг	132540
Штатное ВВ, в том числе по видам:	кг	0
Граммонит	кг	0
Гранулотол	кг	0
Шашки	кг	246
НСИ "RIONEL" :		
MS-20-22,2 м	шт.	328
X-25-7,8 м	шт.	6
X-42-7,8 м	шт.	92
X-67-12 м	шт.	63
X-100-7,8 м	шт.	0
Тип и вес ПД	ПТ-П-750(1,5 кг)	
Удельный расход ВВ	кг/м^3	2,28
Взорвано скважин	шт.	164
Взорвано	м	2873,2
Выход с 1 м скважины	м^3	20,3

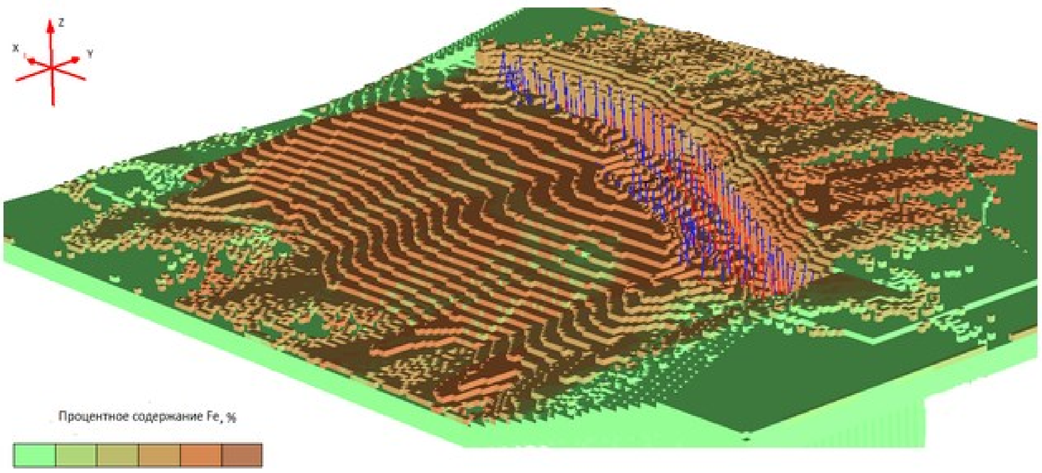


Рис. 3 – Блочная модель развала блока № 3577, рассчитанная «BlastModel»

К содержанию

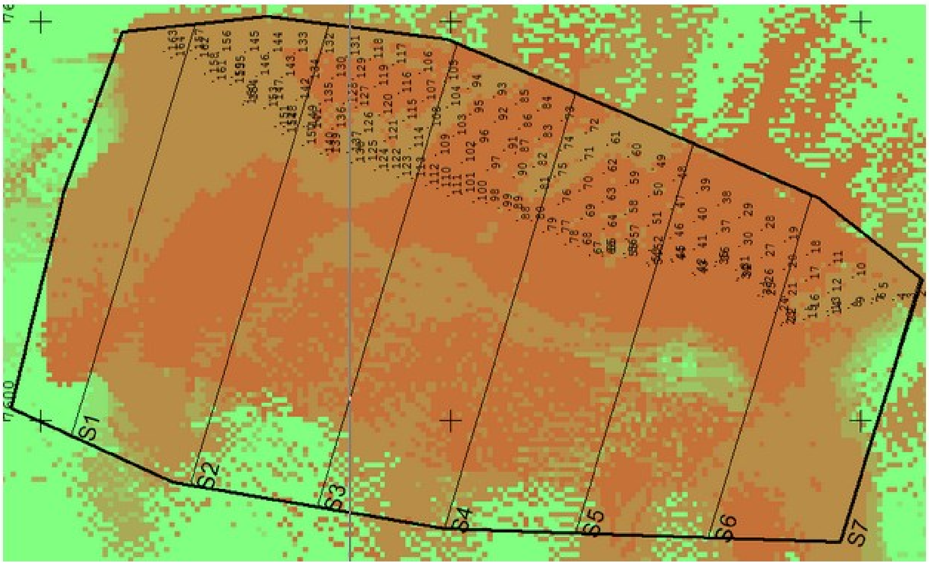


Рис. 4 – Блочная модель развала блока № 3577 в плане с нанесенными сечения, между которыми считаются объемы

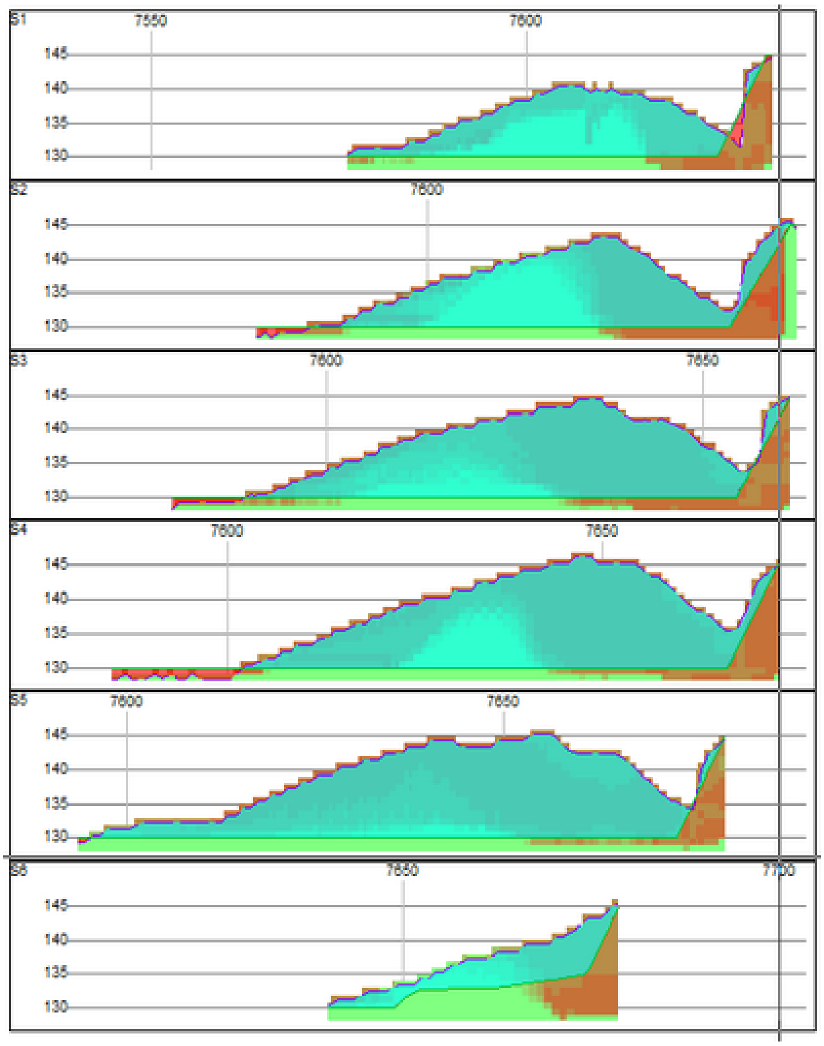


Рис. 5 – Поперечные разрезы развала блока № 3577 взорванной горной массы (*светлые участки* – размещение железной руды с содержанием полезного компонента более 10%)

К содержанию

Адаптированный модуль «BlastModel» позволяет достаточно достоверно прогнозировать параметры развала и моделировать развал при различных интервалах и различных схемах коммутации. Спрогнозированные параметры развала и распределения полезного компонента показали высокую степень сходимости (до 70 %) с данными реальных взрывов на карьерах, которые были подтверждены по результатам маркшейдерской съемки развалов и опробования взорванной горной массы по заходкам экскаватора.

Литература

1. Исследование влияния параметров буровзрывных работ на трансформацию структуры рудных массивов: отчет о научно-исследовательской работе / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2012. – 71 с.
2. Кабелко С.Г. Математическая основа, алгоритмы и программное обеспечение компьютерного моделирования взрывного разрушения горных пород на карьерах / С.Г. Кабелко, А.В. Герасимов // IV Уральский горнопромышленный форум. Горное дело. Технологии. Оборудование. Спецтехника: сб. докладов научно-технической конференции «Информационные технологии в горном деле» 12 - 14 октября 2011 г. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – С. 64 - 74.
3. Рождественский В.Н. Взрывание скважинных зарядов в условиях подпора из ранее взорванной горной массы при дроблении крупноблочных пород: науч.-техн. сб. / В.Н. Рождественский, С.Р. Пьянзин, Т.М. Зырянова // Взрывное дело. - № 108/65 – М.: ЗАО МВК по взрывному делу при АГН, 2012. – С. 117 - 125.

К содержанию

УДК 622.765.063:669.2/.8

Реутов Дмитрий Сергеевич
аспирант,
Институт Металлургии УрО РАН,
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 101
Тел. +7(343)-232-91-14,
e-mail IIeporr@mail.ru

Котельникова Алла Леонидовна
старший научный сотрудник,
кандидат геолого-минералогических наук,
Институт Геологии и Геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7,
Тел. 8-912-6957760,
e-mail: kotelnikova@prm.uran.ru

Халезов Борис Дмитриевич
ведущий научный сотрудник,
доктор технических наук,
Институт Металлургии УрО РАН
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена,101
Тел. +7-(343)-232-90-34,
e-mail: bd-chalezov@yandex.ru

Кориневская Галина Геннадьевна
младший научный сотрудник,
Институт Минералогии УрО РАН,
456301, г. Миасс Челябинской обл.,
Ильменский заповедник,
Тел. 8-902-8907600,
e-mail: galkor@yandex.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦИНКА, МЕДИ И УТИЛИЗАЦИИ ПЕСКОВ ИЗ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПОСЛЕ ФЛОТАЦИИ МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ[*]

Аннотация:

Отобраны пробы отходов вторичной переработки отвальных медеплавильных шлаков. Изучен химический, фазовый и минералогический составы шлака. По данным РФА практически вся медь сосредоточена в ферритах, а цинк в ферритах, силикатах, цинките и сфалерите.

Сделана попытка разделить шлак на магнитную и немагнитную фракции методом мокрой магнитной сепарации. Сделан синтез и исследование железосодержащих стекол, близких по составу железистой стеклообразной фазе медеплавильных шлаков. Были проведены исследования по выщелачиванию ферритов меди и цинка из шлака СУМЗа агитационным выщелачиванием серной, азотной и соляной кислотами. Наибольшее извлечение меди и цинка наблюдается в сравнительно слабых растворах серной кислоты. Опыты по кинетике растворения ферритов методом вращающегося диска являются долговременными и в настоящее время продолжаются.

Ключевые слова: медь, цинк, утилизация, отходы флотации, выщелачивание, мокрая магнитная сепарация, серная кислота.

Reutov Dmitriy
Institute of Metallurgy UB RAS
Postgraduate student
620016, Yekaterinburg, Amundsena st., 101
Tel. +7- (343) -232-91-14,
e-mail: IIeporr@mail.ru

Kotelnikova Alla
Institute of Geology and Geochemistry UB RAS
Senior Researcher
620075, Yekaterinburg, per.Pochtovy 7
Tel. +7- (343) -374-33-13,
e-mail: kotelnikova@prm.uran.ru

Halezov Boris
Institute of Metallurgy, UB RAS
Senior Researcher
Doctor of Technical Sciences
620016, Yekaterinburg, Amundsena st., 101
Tel. +7- (343) -232-90-34
e-mail: bd-chalezov@yandex.ru

Korinevskaya Galina
Institute of Mineralogy, UB RAS
Junior Researcher
456301, Chelyabinsk region, Miass,
Il'menskiy zapovednik
Tel. +7-(3513)-57-04-08
e-mail: galkor@yandex.ru

STUDIES AND RESEARCH TECHNOLOGY TO EXTRACT ZINC, COPPER AND UTILIZATION SANDS FROM SOLID WASTE OBTAINED AFTER FLOTATION COPPER SMELTING SLAG

Abstract:

Samples of waste recycling smelting slag dumpare selected. The chemical, mineralogical and phase composition of the slag is studied. According to X-ray diffraction almost all of the copper is concentrated in ferrites and zinc – in ferrites, silicates, zincite and sphalerite.

An attempt was made to divide slag into the magnetic and non-magnetic fractions by wet magnetic separation.

The synthesis and study of iron glass, similar in composition to glandular glassy phase smelting slag is made.

Studies have been conducted on leaching of copper and zinc ferrite from the SUMZ slag by agitation leaching with sulfuric, nitric and hydrochloric acids. Most copper and zinc extraction is observed in comparatively weak solutions of sulfuric acid. Experiments on the kinetics of ferrites dissolution by a rotating disk are durable and currently ongoing.

Keywords: Copper, zinc, utilization, flotation wastes, leaching, wet magnetic separation, sulfuric acid.

---

[*] Работа выполнена в рамках проекта № 12-П-35-2020 Программы № 27 фундаментальных исследований Президиума РАН

К содержанию

Отходы вторичной переработки отвальных медеплавильных шлаков «технические пески», полученные от флотации старогодних отвалов, представляют собой дополнительный источник сырья для получения различных продуктов. Эти тонкоизмельченные отходы оказывают негативное влияние на окружающую среду за счет эмиссии тяжелых металлов. Пески отнесены к IV классу опасности в соответствии с техническими условиями (ТУ). Использование их для рекультивации нарушенных земель возможно только после извлечения тяжелых металлов. Разработка способов гидрометаллургического извлечения цветных металлов из данного вида отхода и утилизации вторичных продуктов путем введения их в биогеоценозы в качестве микроэлементной добавки позволит не только извлечь полезные компоненты, но и решить экологические проблемы.

Гранулометрический состав «песков» следующий: (0,21 – 0,10) мм – 1,1 – 4,1 %; (0,1 – 0,05) мм – 21 - 30 %; <0,05 мм 69 – 75 %. В табл. 1 приведены данные химического анализа состава шлака.

Таблица 1

Данные химического анализа шлака, масс. %

Элемент	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	CaO	MgO	P_2O_5	Cu	Zn	Pb
%	31,90	4,94	7,70	40,50	0,09	4,16	1,22	0,09	0,51	3,94	0,18

По данным рентгено-фазового анализа (РФА) практически вся медь сосредоточена в ферритах. Цинк распределен в ферритах, силикатах, цинките, сфалерите.

Впервые выполнено исследование по разделению «технических песков» Средне-Уральского металлургического завода (СУМЗ) методом мокрой магнитной сепарации. Сделаны химический и фазовый составы полученных фракций (табл. 2 и 3)

Таблица 2

Результаты химического анализа, масс. %

Фракция	SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	Cu	Zn	Pb	As	$Fe_{общ}$
Исходный «песок»	32,36	2,89	0,038	4,39	0,98	0,39	0,29	0,046	0,18	1,17	0,064	0,067	35,49
Магнитная	32,36	3,12	0,035	4,54	1,01	0,40	0,30	0,050	0,19	1,20	0,066	0,067	37,77
Слабомагнитная	35,17	3,27	0,038	5,15	1,28	0,46	0,38	0,057	0,15	1,36	0,07	0,066	34,78
Немагнитная	37,24	3,93	0,05	5,01	1,71	0,53	0,49	0,069	0,24	1,2	0,068	0,055	33,14

Таблица 3

Распределение минералов по фракциям, масс. %

Минерал	Магнитная фракция	Слабомагнитная фракция	Немагнитная фракция
Фаялит Fe_2SiO_4	79,81	13,09	7,09
Магнетит Fe_3O_4 + ферриты цинка и меди $Cu_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$	96,13	3,27	0,61
Форстерит $(MgMn)SiO_4$	84,17	9,87	5,94
Диопсид $CaZn(Si_2O_6)$	83,63	10,57	5,82
Цинкит ZnO	77,69	8,56	13,50
Сфалерит ZnS	84,04	11,56	4,29

К содержанию

Основной минеральной фазой всех фракций является фаялит. Равномерное распределение форстерита $(MgMn)SiO_4$, диопсида $CaZn(Si_2O_6)$, сфалерита ZnS и цинкита ZnO по фракциям может свидетельствовать о том, что после дробления шлака сохраняются тонкие агрегаты фаялита, форстерита и стекла, включающие цинк и медьсодержащие минералы.

Расчеты с учетом весового выхода фракций магнитной сепарации свидетельствуют о том, что цинк и медь в основном сконцентрированы в магнитной фракции (табл. 4).

Таблица 4

Распределение химических элементов по фракциям с учетом весового выхода, масс. %

Фракция	SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	Cu	Zn	Pb	As	$Fe_{общ}$
Магнитная	81,78	81,60	80,49	81,59	77,84	80,43	78,10	80,26	83,89	82,08	82,58	84,30	84,61
Слабомагнитная	11,58	11,14	11,38	12,06	12,85	12,05	12,89	11,92	8,63	12,12	11,41	10,82	10,15
Немагнитная	6,65	7,26	8,12	6,36	9,31	7,53	9,01	7,82	7,48	5,80	6,01	4,89	5,24

В магнитной фракции сконцентрированы магнетит и ферриты цветных металлов (около 97 %), концентрация меди и цинка в немагнитной фракции повышенная, вероятно, за счет накопления куприта и цинкита. В целом можно сказать, что магнитная фракция может быть полезна при дальнейшем совершенствовании метода.

Проведен синтез модельных железосодержащих стекол, близких по составу железистой стеклообразной фазе медеплавильных шлаков СУМЗа следующего состава: Na_2O (CaO, K_2O) - Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 - $(ZnO - CuO)$. Проведены исследования по изучению структурных особенностей данных систем различными методами.

Минералогическим анализом медеплавильных шлаков определено, что в состав отвальных шлаков входит до 34 % железистой стекловатой фазы, в гранулированных – до 90 %. Основная масса минералов находится в виде включений в стекле. Установлено, что железистая стекловатая фаза метастабильна и с течением времени кристаллизуется чаще в оливин (фаялит) или магнетит в зависимости от химического состава шлака.

Состав самого стекла (по зондовым анализам нескольких проб стекол шлака СУМЗа (табл. 5)) имеет 30 – 50 % кремнезема, глинозема от 7 до 20 %, щелочей до 10 %, цинка 1,5 –10 %, меди до 1 %. В составе стекол наблюдается содержание оксидов железа (до 30 %) .

Таблица 5

Зондовые анализы для стеклообразной фазы шлака СУМЗа (ИГГ УрО РАН)

Формула	Состав, масс%			
	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4
Na_2O	3,58	2,13	1,85	2,33
MgO	-0,43	0,21	0,06	0,15
Al_2O_3	7,49	7,56	8,53	9,22
SiO_2	38,22	40,74	41,8	43,36
P_2O_5	0,14	0,25	0,21	0,2
SO_3	4,52	1,54	2,66	2,56
K_2O	1,54	1,52	1,09	1,47
CaO	4,02	5,31	13,88	13,45
MnO	0	-0,03	0,05	0,04
FeO	30,02	34,93	25,56	22,42
CuO	0,1	0,09	0,12	0,66
ZnO	9,51	5,25	3,49	3,78
As_2O_3	1,3	0,5	0,7	0,28
Sb_2O_3	н.о.	н.о.	н.о.	0,08

К содержанию

Синтез проводился из реактивов Na_2O, CaO, K_2O, Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, ZnO, CuO квалификации «химически-чистая» («хч»). Исходные реактивы предварительно высушивались в сушильной печи при 110°С в течение двух часов. Приготовленную исходную шихту тщательно перемешивали в ступке с C_2H_5OH, затем высушивали при температуре 110°С. Прокаленную смесь помещали в платиновый тигель и плавили в высокотемпературной печи при температуре 1580°С до полной гомогенизации.

Исследование структурных особенностей полученных стекол выполнено методом спектроскопии комбинационного рассеяния света (КР). Для регистрации спектров КР использовался спектрометр Horiba Jobin Yvon HR 320 Labram с микроскопом Olimpus BX41.

Спектры КР содержат полосы, характерные для железосодержащих стекол. В низкочастотной части спектра доминирует широкая полоса в области 400 – 600 см$^{-1}$, представляющая собой суперпозицию нескольких полос. Высокочастотная часть спектра представлена полосой в области 1000 – 1200 см$^{-1}$ и, вероятно, связана с проявлением валентных колебаний немостиковых связей силикатных структурных единиц. Все это указывает на то, что в структуре железосодержащих стекол железо играет значительную роль.

Рентгеноструктурные исследования проводились на порошкообразных пробах на автоматизированном дифрактометре ДРОН-2. По результатам рентгеноструктурного анализа в исследуемых образцах можно выделить аморфное стекло и кристаллические фазы кварца синтетического, кристобалита, магнетита, а также незначительное количество гематита (или алюмогематита). На образцах стекол состава Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3-ZnO-CuO наряду с описанными выше кристаллическими фазами появляются полосы франклинита ($ZnFe_2O_4$) и купрошпинеля ($CuFe_2O_4$), которые слабо разрешимы от полос магнетита ($FeFe_2O_4$).

Выполнены поисковые исследования гидрометаллургической переработки отходов вторичной переработки отвальных медеплавильных шлаков СУМЗа. При непродолжительном трехчасовом выщелачивании достигнуто достаточно высокое извлечение меди и цинка (табл. 7).

В табл. 6, 7, 8 и 9 приведены полученные данные по извлечению меди и цинка при различных концентрациях кислот.

Таблица 6

Извлечение меди и цинка из шлака СУМЗ в водный раствор серной кислоты, %

Концентрация кислоты, г/дм^3	Извлечение Cu в раствор по кеку	Извлечение Zn в раствор по кеку
106	12,24	34,90
290	57,17	70,28
697	62,45	76,44
1252	55,05	58,66
1799	59,92	74,06

Таблица 7

Химический состав маточных растворов сернокислотного выщелачивания, г/дм^3

Концентрация кислоты, г/дм^3	Cu	Zn	Fe	Si	Ca	Al
106	0,055	1,204	14,23	0,0887	0,5871	0,1903
290	0,368	3,56	51,3	-	0,24	0,95
697	0,219	2,03	29,7	-	0,18	0,5
1252	0,126	0,97	13,6	-	0,11	0,21
1799	0,256	0,0912	0,7675	-	0,4465	0,1758

К содержанию

Таблица 8

Извлечение меди и цинка из шлака СУМЗ в водном растворе азотной кислоты, %

Концентрация азотной кислоты, г/дм^3	Извлечение Cu в раствор по кеку	Извлечение Zn в раствор по кеку
5	15,84706	19,48731
10	–	18,53648
25	–	20,39016
50	17,47549	25,01161

Таблица 9

Извлечение меди и цинка из шлака СУМЗ в водном растворе соляной кислоты, %

Концентрация соляной кислоты, г/дм^3	Извлечение Cu в раствор по кеку	Извлечение Zn в раствор по кеку
5	20,83824	12,65799
15	–	17,4269
25	21,08039	–
50	46,24314	22,15317

По полученным данным можно судить о том, что извлечение меди и цинка в раствор при испытанных концентрациях в солянокислой и азотнокислой средах в несколько раз меньше, чем в сернокислой среде. Считаем, что при увеличении продолжительности выщелачивания можно извлечь более полно медь и цинк.

Ранее исследована кинетика растворения минералов меди и цинка (ковеллина, куприта, сфалерита, цинкита, малахита, азурита) в растворах серной кислоты [3] методом вращающегося диска. Невыясненным является характер растворения феррита цинка и меди, являющихся основными составляющими «песков».

В связи с этим были синтезированы ферриты меди и цинка. Синтез проводился по керамической технологии. Оксиды меди и железа смешивали в стехиометрическом соотношении $CuO:Fe_2O_3=1:2$, измельчали и обжигали в муфельной печи при температуре 1200°С в течение 4 часов. Осадок повторно измельчали и повторно обжигали в течение 5 часов. Для удаления остаточных оксидов железа и меди образец обрабатывали водным раствором соляной кислоты с концентрацией 25 масс. % и сушили при 140°С. Феррит цинка синтезировали аналогично.

Также из синтезированных ферритов были спрессованы таблетки для проведения исследований растворения методом вращающегося диска. В качестве материала для изоляции диска (боковой поверхности оси и верхней поверхности диска) была использована обойма из фторопласта. Таблетки вклеивали в обойму с помощью клея Poxipol, в состав которого входят эпоксидная и меркаптановая смолы. Опыты по кинетике растворения ферритов методом вращающегося диска являются долговременными и в настоящее время продолжаются. Это позволит разработать научные основы гидрометаллургического способа извлечения цветных металлов из «песка».

К содержанию

Выводы

1. Проведена мокрая магнитная сепарация, которая может быть полезна для совершенствования метода переработки шлаков СУМЗа.

2. Синтезированы железосодержащие стекла, близкие по составу железистой стеклообразной фазе медеплавильных шлаков составов Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3- ZnO-CuO.

3. Проведены рентгеноструктурные исследования и исследования структурных особенностей данных стекол методом спектроскопии комбинационного рассеяния света. Выявлено, что в структуре железосодержащих стекол железо играет значительную роль.

4. В лабораторных условиях при непродолжительном трехчасовом выщелачивании достигнуто достаточно высокое извлечение меди и цинка.

5. Синтезированы ферриты меди и цинка для изучения кинетики выщелачивания.

Литература

1. Котельникова А.Л. О поведении цинка в техногенных системах / А.Л. Котельникова, В.Ф. Рябинин, Б.Д. Халезов // Ежегодник-2012. ИГГ УрО РАН. – 2012. – Вып. 160. – Вып. 159. – С. 104 - 106.

2. Котельникова А.Л. Проблемы экологически безопасного использования и утилизации отходов медеплавильного производства / А.Л. Котельникова и др. // I Научно-техническая конференция с международным участием «Твердые полезные ископаемые: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений»: сборник докладов. – Екатеринбург, 2013. – С. 88 - 92.

3. Халезов Б.Д. Кучное выщелачивание медных и медно-цинковых руд / Б.Д. Халезов. - 2013. – 320 с.

К содержанию

УДК622.341.013.3:658.62.018.012.003.13

Соломеин Юрий Михайлович
ведущий инженер, аспирант,
Институт горного дела УрО РАН
620219 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
Тел. +7 (343) 3507128,
e-mail: geotech@igduran.ru;

Рожков Артём Андреевич
инженер, аспирант,
Институт горного дела УрО РАН
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
Тел. +7 (343) 3507128,
e-mail: geotech@igduran.ru.

SolomeinYury Mikhailovich
leading engineer, post-graduate,
The Institute of Mining UB RAS
620219, Yekaterinburg,
58, Mamin-Sibiryak st.
Tel. +7(343) 350-71-28,
e-mail: geotech@igduran.ru

RojkovArtemAndreevich
engineer, post-graduate,
The Institute of Mining UB RAS
620219, Yekaterinburg,
58, Mamin-Sibiryak st.
Tel. +7(343) 350-71-28,
e-mail: geotech@igduran.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОЛИРОВАННОГО ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ИЗВЛЕКАЕМУЮ ЦЕННОСТЬ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ[*]

RESEARCH OF FACTORS’ SEPARATED INFLUENCE ON THE EXTRACTED IRON ORE WORTH

Аннотация:

Пользуясь методом детерминированного факторного анализа, рассмотрено изолированное влияние факторов на извлекаемую ценность железной руды Естюнинского месторождения. Рассмотрены ключевые факторы, воздействующие на эффективность функционирования горнодобывающего предприятия, и установлена степень их воздействия. Представлено полученное уравнение определения извлекаемой ценности в аддитивной форме с коэффициентами, равными относительным изменениям извлекаемой ценности при изменении i-ых факторов. Определены критические значения показателей, влияющих на извлекаемую ценность.

Ключевые слова: фактор, экономико-математическое моделирование, критерий эффективности, детерминированный факторный анализ.

Abstract:

The factors’ separated influence on the extracted iron ore worth of the Estuninsky deposit is considered employing the method of deterministic factor analysis. Key factors influencing on the efficiency of mining plant operation are considered and the severity of their influence is set up. The derived equation of determination the extracted worth in additive form is presented with coefficients equal to relative variations of extracted worth under i-factors change. The crucial values of indices influencing on the extracted worth are determined.

Key words: factor, economic and mathematical modeling, the criterion of efficiency, deterministic factor analysis.

На эффективность функционирования горных предприятий влияние оказывает ряд факторов, как управляемых, так и неуправляемых. К первым следует отнести потери, разубоживание при добыче и извлечение металла в концентрат при обогащении, а ко вторым – содержание металла в погашаемых запасах, рыночную цену металла в концентрате и курс рубля по отношению к американскому доллару.

Цена является наиболее существенным фактором, оказывающим влияние на прибыль предприятия. Ее изменение носит, как правило, цикличный характер, при котором рост сменяется падением. Такое положение дел зачастую приводит к тому, что

---

[*] Работа выполнена при поддержке междисциплинарного проекта «Освоение недр Земли: перспективы расширения и комплексного освоения минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала» (12-М-23457-2041).

предприятия не могут своевременно выработать систему превентивных мер для устранения негативных последствий снижения цен, а в период роста – подготовиться к последующему периоду их возможного снижения.

Основными показателями конкурентоспособности продукции горнодобывающего предприятия являются затраты (в нашем случае себестоимость добычи и обогащения руды) на единицу извлекаемой ценности (металла) и качество продукции, как правило, задаваемое установленными стандартами. С целью создания метода оперативного определения целесообразности отработки железорудных месторождений было проведено экономико-математическое моделирование эффективности добычи руды на примере Естюнинского месторождения. Критерием эффективности принята величина прибыли на единицу погашаемых балансовых запасов

$$\text{Пр} = k\eta Zc\varepsilon - \text{С}\frac{1-\text{П}}{1-\text{Р}} \quad , \tag{1}$$

где k – курс рубля к американскому доллару;

$\eta\eta$ – коэффициент извлечения руды при добыче, $\eta\eta = (1 - \text{П})$;

П – потери, доля ед.;

Р – разубоживание, доля ед.;

Z – цена металла в 1 т концентрата на мировом рынке FOB, дол.;

c – содержание металла в погашаемых запасах, доля ед.;

С – себестоимость добычи, транспортирования и обогащения 1 т добытой руды, руб.;

ε – извлечение металла в концентрат при обогащении, доля ед.

Цена концентрата горно-обогатительного комбината определяется стоимостью 1 % содержания полезного компонента в концентрате на мировом рынке FOB. При расчете ценности продукции кроме этого учитываются содержание металла в балансовых запасах, показатели извлечения η и ε при добыче и обогащении руды, и курс американского доллара по отношению к рублю. Целесообразно установить их влияние на величину извлекаемой ценности 1 т погашаемых балансовых запасов.

При решении этой задачи использовался метод детерминированного факторного анализа (ДФА): элиминирование – исключение воздействия всех факторов, кроме одного (для независимых факторов) [1]. В нашем случае исследуется мультипликативная модель вида $\text{Ц}_{\text{изв}} = k\eta Zc\varepsilon$; задача – оценка влияния абсолютного изменения i-го фактора на абсолютное изменение результативного показателя.

Алгоритм выявления изолированного влияния факторов состоит в определении:

1. Математического ожидания (МО) каждого фактора. Известно, что значения факторов имеют гауссовское распределение в конкретном диапазоне. МО факторов за весь период исследования (n = 11 лет) определяются как среднеарифметическое среднегодовых значений $[x] = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$.

2. Среднего квадратического отклонения (СКО) каждого фактора

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\mathrm{x}_i - [x])^2}{n-1}} \ .$$

3. МО извлекаемой ценности как произведения математических ожиданий всех факторов. Эта средняя величина за период исследования $[\text{Ц}_{\text{изв}}] = [Z]\cdot[c]\cdot[\eta]\cdot[\varepsilon]\cdot[k] = 500{,}19$ руб/т.

4. Величины абсолютного изменения $\text{Ц}_{\text{изв}}$ при изменении i-го фактора ($\Delta\text{Ц}_{\text{изв}}(x_i)$) путем перемножения МО всех факторов (кроме i-го фактора) и СКО i-го фактора.

5. Общей величины абсолютного изменения извлекаемой ценности $\Delta\text{Ц}_{\text{изв}}(\Sigma)$ как суммы абсолютных изменений извлекаемой ценности при изменении каждого фактора

$$\Delta\text{Ц}_{\text{изв}}(\Sigma) = \Delta\text{Ц}_{\text{изв}}(Z) + \Delta\text{Ц}_{\text{изв}}(c) + \Delta\text{Ц}_{\text{изв}}(\eta) + \Delta\text{Ц}_{\text{изв}}(\varepsilon) + \Delta\text{Ц}_{\text{изв}}(k) = 395{,}92 \text{ руб/т.}$$

К содержанию

6. Величины относительного изменения извлекаемой ценности при изменении i-го фактора как отношения $\Delta Ц_{изв}(x_i)$ к $\Delta Ц_{изв}(\Sigma)$.

На основании проведенного ДФА получено уравнение определения извлекаемой ценности в аддитивной форме с коэффициентами, равными относительным изменениям извлекаемой ценности при изменении i-х факторов.

$$Ц_{изв} = 3{,}52Z + 54{,}05c + 1{,}67k + 20{,}17\varepsilon + 13{,}03\eta. \quad (2)$$

По данному алгоритму разработана программа расчета на ПЭВМ. Результаты расчета приведены в таблице.

ДФА показал, что наиболее значимыми являются факторы, не зависящие от технологии ведения горных работ: цена металла в тонне концентрата на рынке FOB и курс американского доллара. Эти два фактора характеризуют конъюнктуру рынка металлов и определяют эффективность отработки месторождения на данный период времени (рис. 1).

Таблица 1

Результаты расчета влияния отдельных факторов на извлекаемую ценность

Параметр мультипликативной модели	Диапазон изменения факторов	МО	СКО	Абсолютное изменение $\Delta Ц_{изв}(x_i)$, руб./т	Размер влияния каждого фактора, %
Цена металла в тонне концентрата, дол/т	21,45 –170,37	86,75	52,9	305,06	77
Содержание металла в балансовых запасах, доля ед.	0,262 – 0,283	0,28	0,008	14,93	4
Коэффициент извлечения при добыче, доля ед.	0,896 – 0,952	0,93	0,023	12,12	3
Коэффициент извлечения при обогащении, доля ед.	0,737 – 0,83	0,78	0,024	15,69	4
Курс доллара, руб/дол	23,5 – 33,9	28,85	2,78	48,13	12
Извлекаемая ценность, руб/т	-	500,19	-	395,92	-

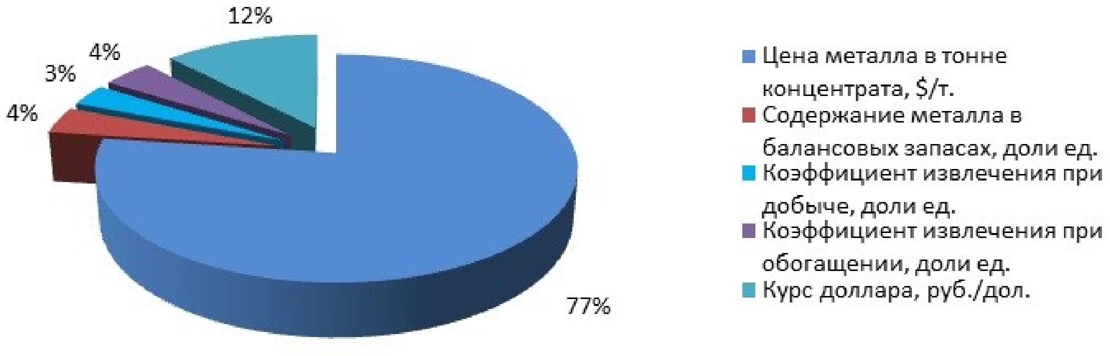


Рис. 1 – Доля влияния факторов на извлекаемую ценность
1 т балансовых запасов железной руды

Эффективность отработки месторождения определена при помощи ЭММ по критерию изменения прибыли, отнесенной на 1 т балансовых запасов, от цены металла в тонне концентрата и курса рубля по отношению к американскому доллару при принятых исходных данных за 2012 год (рис. 2). Видно, что критической при подземной добыче железных руд является цена концентрата (с содержанием металла 63 %) в диапа-

К содержанию

зоне 115 – 125 $/т и курс рубля в диапазоне 28,5 – 29,5 руб/дол. Это минимально допустимые значения данных факторов, ниже которых добыча руды становится убыточной (при фиксированных значениях прочих факторов).

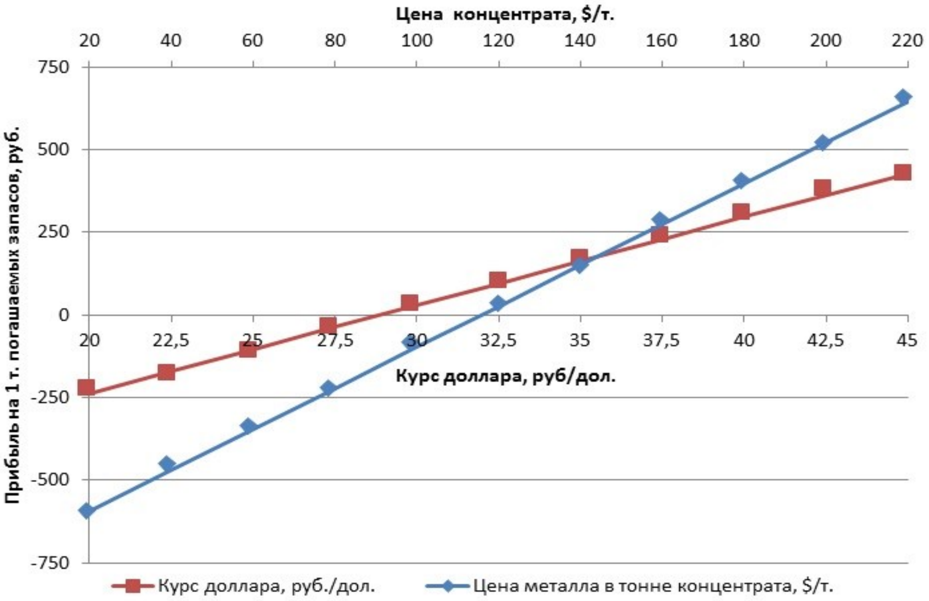


Рис. 2 – Зависимость прибыли от курса доллара и цены металла в тонне концентрата на рынке FOB

Благодаря использованию разработанной экономико-математической модели можно оперативно определить критические значения основных факторов, влияющих на прибыль, что, в свою очередь, позволяет заблаговременно подготовиться к кризисной ситуации и разработать меры или их комплекс, предназначенные для компенсирования падения цен или курса рубля по отношению к американскому доллару. Что может противопоставить горнодобывающее предприятие снижению цен и падению курса рубля? Для сохранения прибыли предприятия на прежнем уровне необходимо, чтобы ее падение компенсировалось за счет увеличения прибыли от роста среднего содержания, коэффициента извлечения, либо снижения потерь, разубоживания и общих затрат на добычу и обогащение руды, а также повышения производительности труда. Даже незначительный относительный рост затрат ведет к относительному падению прибыли в 3 – 9 раз. Поэтому горные предприятия должны иметь рациональный набор мероприятий в период понижения цен на свою продукцию, чтобы нивелировать их падение.

С другой стороны, необходимо использовать возможные внутренние резервы для повышения качества выпускаемой продукции. Известно, что ценность единицы продукта растет как с повышением его качества, так и с переходом в более качественный продукт после каждой стадии переработки сырья. Поэтому резервы повышения цены должны рассматриваться в цепи низкосортные концентраты – высокосортные концентраты – металл. Имеющиеся сегодня оценки свидетельствуют о целесообразности более глубокой переработки руд с выпуском не только концентратов высокого качества, но и с организацией соответствующих производств непосредственно металлов.

Периодические колебания цен на продукцию горнодобывающей промышленности и природная изменчивость важнейших показателей качества полезного ископаемого, таких как мощность и угол падения рудных тел, физико-механические свойства вмещающих пород и полезного ископаемого, а также другие горно-геологические условия и ряд факторов внешней среды обуславливают неизбежные колебания прибыли. Разработанная экономико-математическая модель позволяет эффективно и наглядно определить значения основных факторов, влияющих на целесообразность разработки железорудного месторождения, или отследить и прогнозировать ситуацию на уже работающем горнорудном предприятии.

К содержанию

Выводы

1. Разработанные экономико-математическая модель и программа расчета на ПЭВМ позволяют оперативно определить степень влияния факторов как зависящих от технологии ведения горных работ, так и не зависящих.

2. В результате детерминированного факторного анализа определены наиболее значимые факторы, не зависящие от технологии ведения горных работ: цена металла в тонне концентрата на рынке FOB и курс американского доллара.

3. Учет внешних неуправляемых факторов – мировой цены металлов и курса доллара позволяют определить эффективность добычи руды в зависимости от действующей на момент отработки блока конъюнктуры рынка не только в целом для месторождения, но для конкретного добычного блока.

4. Благодаря использованию разработанной экономико-математической модели можно оперативно определить критические значения основных факторов, влияющих на прибыль, что, в свою очередь, позволяет заблаговременно подготовиться к кризисной ситуации и разработать меры или их комплекс, предназначенные для компенсирования падения цен или курса рубля по отношению к американскому доллару.

Литература

1.Соколов И.В. Влияние показателей извлечения на эффективность технологии подземной разработки рудных месторождений / И. В. Соколов, А. А. Смирнов, Ю. Г. Антипин и др. // Горный журнал. Известия высших учебных заведений. – 2012. - № 3. – С. 4 - 11.

2.Волков Ю.В. Методика определения эффективных соотношений потерь и разубоживания при этажно-камерной системе разработки с предохранительными целиками / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, Г.А. Чаговец // Горный журнал. Известия вузов. – 2009. - № 2. – С. 4 – 7.

3.О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2011 году. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=131017.

4.Батугина Н.С. Возможности горнорудного предприятия при изменении цен на минеральное сырье / Н.С. Батугина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. - № 12. – С. 138 – 145.

5.Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / В.Е. Гмурман. – 12-е изд., перераб. – М.: Высшее образование, 2007. - 479 с.

6.Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990 - 2003 гг. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2004. – 329 с.

7.Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990 - 2005 гг. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2006. – 364 с.

8.Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990 - 2006 гг. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2007. – 390 с.

9.Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990 - 2007 гг. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2008. – 404 с.

10.Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990 - 2009 гг. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2010. – 374 с.

11.Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990 - 2011 гг. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2012. – 408 с.

12.Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990 - 2012 гг. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2013. – 361 с.

13. Динамика официального курса доллара США за 2000 - 2013. ЦБ РФ [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.referent.ru/1/40586.

К содержанию